

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Univerzitní studijní programy**

Návrh a realizace řídicí jednotky elektropohonu  
demonstračního vozidla Democar

Design and Practical Realisation of Electric Drive  
Control Unit for Demonstration Vehicle Democar

Student :

**Bc. Lukáš Cáb**

Vedoucí diplomové práce :

**Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Ostrava 2015

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Cáb**

Studijní program: N3943 Mechatronika

Studijní obor: 3906T007 Automobilová elektronika

Téma: **Návrh a realizace řídicí jednotky elektropohonu demonstračního vozidla Democar**  
**Design and Practical Realisation of Electric Drive Control Unit for Demonstration Vehicle Democar**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor elektronických systémů vozidla s elektrickým pohonem DemoCar. Zaměřte se zejména na koncepci propojení a kooperace elektronický systémů pohonu, brzd, servořízení, osvětlení a centrální elektroniky.
2. Dle instrukcí vedoucího a na základě stávajících řešení elektrického pohonu vozidla DemoCar proveďte návrh jeho elektronického řídicího systému. Berte ohled na požadavky kooperace a diagnostiky všech elektronických systémů.
3. Proveďte praktickou realizace elektronického systémů řízení pohonu a vývoj aplikačního firmware.
4. Prakticky aplikujte vyvinutá řešení a experimentálně ověřte jejich funkčnost při reálných jízdních podmínkách.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 p., ISBN 1-4018-4831-1
- [2] RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 p., ISBN 0-7506-7599-3
- [3] DENTOM, T.: Automotive Technology: Advanced Automotive Fault Diagnosis, 2th Edition, USA 2004, Butterworth-Heinemann Ltd. 2006, 288 p., ISBN 0-7506-6991-8
- [4] Robert Bosch GmbH: Bosch Yellow Jackets Series, Bosch Technical Literature, 1996-2014
- [5] Stockel, W., M., Stockel, T., M., Johanson, Ch.: Auto Diagnosis, Service, and Repair, 7th Edition, Goodheart-Willcox, USA 2003, 1024 p., ISBN 978-1566379106
- [6] Dentom, T.: Automotive Technology: Advanced Automotive Fault Diagnosis, 2th Edition, USA 2004, Butterworth-Heinemann Ltd. 2006, 288 p., ISBN 0-7506-6991-8

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 20.10.2014

Datum odevzdání: 15.05.2015



---

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Petr Noskiewiř, CSc.  
prorektor pro studium

### Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Šimoníka, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární prameny a zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 15. května 2015

.....

Lukáš Cáb

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15. května 2015

.....

Lukáš Cáb

Jméno a příjmení autora práce

Lukáš Cáb

Adresa trvalého bydliště autora

Komenského 488  
742 01 Suchdol nad Odrou

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za věcné informace poskytnuté při tvorbě této práce a za jeho čas strávený při radách a odborných konzultacích. Poděkování patří také Ing. Jiřímu Takáčovi za odborné rady při řešení této práce.

## **Anotace**

CÁB, L.: *Návrh a realizace řídicí jednotky elektropohonu demonstračního vozidla Democar*. Ostrava 2015. 50 stránek. Diplomová práce. VŠB Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací řídicí jednotky elektropohonu vozidla Democar. V úvodní kapitole je uveden aktuální stav elektronických systému vozidla Democar v návaznosti na vyvíjenou jednotku, která je hlavním cílem této práce. Součástí je také popis spolupráce jednotlivých elektronických systému při různých jízdních situacích. Následující kapitola popisuje vybrané komponenty pro pohon vozidla. Kapitola věnující se návrhu řídicí jednotky pohonu obsahuje kompletní soupis požadavků na tuto jednotku a jejich podrobné rozebrání, výstupem je kompletní blokové schéma jednotky. Realizace jednotky je rozdělena do dvou částí a to z hlediska hardwaru a softwaru. Součástí realizace jsou i výstupy komunikace dokazující funkčnost celé jednotky. K práci je připojena příloha v podobě schémat navržené a realizované řídicí jednotky.

## **Annotation**

CÁB, L.: *Design and Practical Realisation of Electric Drive Control Unit for Demonstration Vehicle Democar*. Ostrava 2015. 50 pages. Diploma thesis. VŠB – Technical University of Ostrava. Thesis head Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

This thesis describes the design and practical realisation of the electric vehicle control unit Democar. In the introductory chapter describes the current state of the electronic system of the vehicle Democar being developed in response to a drive which is the main goal of this work. Also included is a description of the collaboration between electronic systems in various driving situations. The following section describes selected components for vehicle propulsion. Chapter devoted to the design of the drive control unit includes a complete list of requirements for this unit and their detailed elaboration output is a complete block diagram of the unit. Implementation of the unit is divided into two parts in terms of hardware and software. Parts of implementation are communication outputs proving the functionality of the unit. The work is accompanied by an Annex in the form of schemes designed and implemented by the control unit.

## **Klíčová slova**

CAN, elektrický pohon, elektromobil, měnič, mikrokontrolér, řídicí jednotka, řídicí systém

## Seznam použitých symbolů a zkratek

BCU	brake control unit (řídící jednotka brzd)
CAN c	sběrnice CAN control
CAN m	sběrnice CAN motor
CAN0	totožné s CAN control
CAN1	totožné s CAN motor
CCU	central control unit (centrální řídící jednotka)
DCU	drive control unit (řídící jednotka pohonu)
LCU	light control unit (řídící jednotka světel)
RM_1_2_SK	spínací kontakt relé napájení měniče 1 a 2
RM_3_4_SK	spínací kontakt relé napájení měniče 3 a 4
RPOWER_SK	spínací kontakt relé hlavního napájení
SCU	stering control unit (řídící jednotka servořízení)
$l$	rozvor náprav
$d$	rozchod náprav
$v_1$	rychlost vnějšího kola v zatáčce
$v_2$	rychlost vnitřního kola v zatáčce
$\Phi$	průměr kola
$\varepsilon$	úhel natočení kol



# OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Rozbor struktury elektronických systémů Democar .....	11
2.1	Vzájemná součinnost elektronických řídicích systémů .....	12
3	Pohon pro vozidlo Democar.....	17
3.1	Popis koncepce pohonu Democar .....	17
3.2	Motor Baumüller DSC100-S64U .....	17
3.3	Měnič kmitočtu Baumüller b maXX 4423-ST0-01200-03.....	19
4	Návrh DCU .....	23
4.1	Základní testování komponent.....	23
4.2	Požadavky na DCU .....	26
4.3	Navrhnuté blokové schéma DCU .....	28
4.4	Požadavky DCU na systémy vozidla.....	29
4.5	Diagnostické funkce DCU .....	30
5	Realizace DCU .....	31
5.1	Hardwarové řešení .....	31
5.2	Softwarové řešení .....	38
5.3	Ověření funkce DCU .....	42
6	Závěr .....	47
	Seznam literatury.....	48
	Seznam příloh.....	50

# 1 Úvod

V posledních letech je v oblasti automotive velmi často skloňovaným pojmem elektromobilita. Většina světových výrobců automobilů již ve své nabídce má různé verze elektrického pohonu, ať už jako čistý elektromobil (pouze elektrický pohon), nebo hybrid (kombinace spalovacího a elektrického motoru). Výrobci, kteří nemají elektromobily ve svém portfoliu, tak s nimi v blízké budoucnosti pravděpodobně budou počítat. Přes všechny prozatímní úskalí elektromobilů každoročně narůstá počet nově registrovaných vozidel s elektrickým pohonem. Za rok 2014 vzrostl meziročně počet nově registrovaných vozidel s elektrickým pohonem o 50 %, v Evropě mají elektromobily 0,75 % trhu, celkový počet nově registrovaných vozidel v Evropě v roce 2014 13 mil.

V podstatě lze říct, že díky oblibě elektromobility, vznikl na VŠB - TU Ostrava projekt vozidla Democar. Jedná se o čistě demonstrační vozidlo k popularizaci a aktivní prezentaci oboru Automobilová elektronika. Toto vozidlo má využívat elektrický pohon se zdrojem energie v podobě Li-Fe-Po<sub>4</sub> baterií, ovládání probíhá skrze rádiovou vysílačku. Projekt Democar zastřešuje Katedra elektroniky z Fakulty elektrotechniky a informatiky. Na vývoji vozidla se podílí řada studentů z oboru Automobilová elektronika a Aplikovaná elektronika v rámci svých bakalářských a diplomových prací pod vedením pedagogů z Katedry elektroniky. Výstupem každé práce je ucelený funkční systém vozidla. Vývoj vozidla Democar si neklade za cíl realizovat elektromobil schopný projít procesem schvalování pro provoz na pozemních komunikacích, ale zapojení nadaných studentů do řešení projektů s realizačním výstupem. Vedlejším produktem této práce může být vývoj nového řešení či technologie.

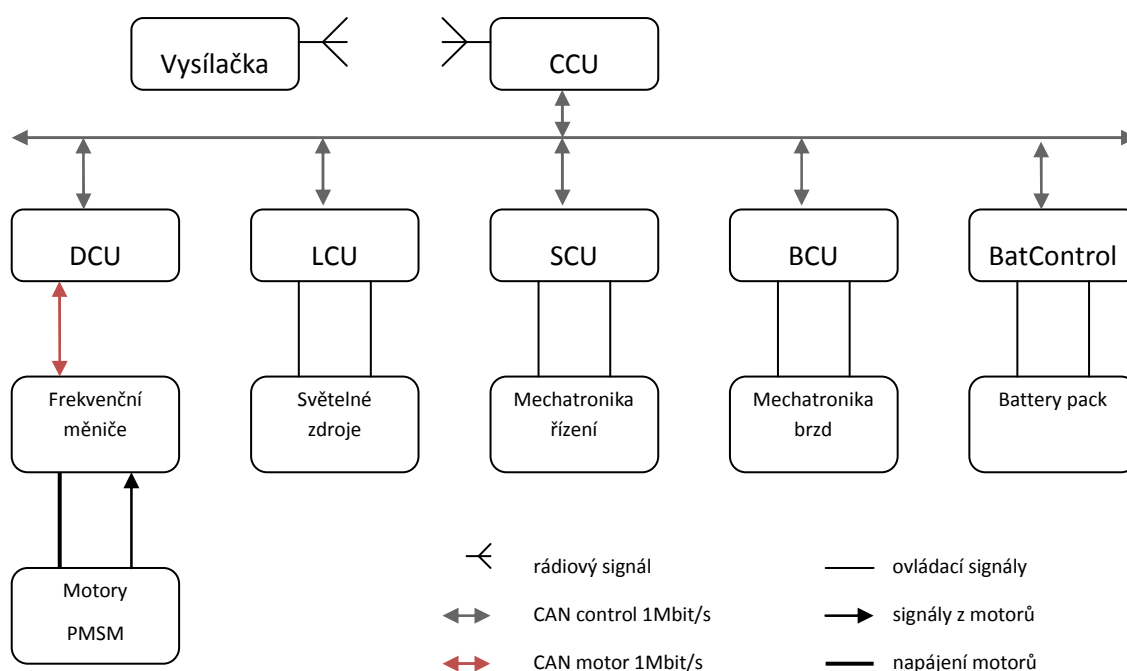


*Obrázek 1. Celkový pohled na vozidlo Democar*

## 2 Rozbor struktury elektronických systémů Democar

Základní vlastnost konstrukce vozidla Democar je modulární řešení jednotlivých elektronických subsystémů vozidla a jejich vzájemná komunikace, resp. spolupráce. Na komerčně vyráběné mechanické konstrukci čtyřkolky (rámu), bylo provedeno několik úprav do podvozkového šasi. Do tohoto základu jsou integrovány elektronické systémy jednotlivých částí vozidla, včetně jejich řídicích jednotek. Vše je vyvíjeno jako u moderních automobilových elektronických řídicích systémů, včetně využití automotive obvodů, jak mikrokontroleru, tak i dalších součástek.

Na jedné straně máme senzorickou část, která poskytuje vstupní informace pro řídicí jednotku a ta na základě řídicích algoritmů ovládá akční členy, které přímo působí na vozidlo. Toto řešení je typické pro každý ucelený systém vozidla např. brzdový systém, řízení pohonu, servořízení. Pro vzájemnou spolupráci jednotlivých systémů jsou všechny napojeny na společnou sběrnici CAN, kde posílají provozní stavy a veličiny.



Obrázek 2. Blokové schéma elektroniky vozidla Democar

U vozidla Democar je jedna zvláštnost z důvodu ovládání celého vozidla pomocí rádiové vysílačky. A to centrální řídicí jednotka, která zpracuje příkazy z vysílačky a pošle je na sběrnici CAN, kde je podle identifikátoru zprávy čte jednotka, pro kterou jsou určeny. Dále prostřednictvím CAN je realizována vzájemná spolupráce řídicích systémů, která bude více rozebrána s ohledem na navrhovaný systém řízení pohonu. Kterákoliv zpráva na sběrnici CAN může být zpracována více jednotkami současně a právě tohoto se využívá při součinnosti jednotlivých systémů.

## **2.1 Vzájemná součinnost elektronických řídicích systémů**

V této podkapitole bude detailně rozebrána spolupráce elektronických řídicích systémů, z pohledu toku informací po sběrnici CAN, pro co nejkomfortnější a nejbezpečnější provoz. Aby bylo dosaženo požadovaných výsledků, hraje velkou roli návrh identifikátorů jednotlivých zpráv resp. jejich priorita. U řízení koncových mechatronických systémů po sběrnici bez mechanické vazby (x-by-wire), se nemůže stát, aby např. požadavek na brzdění vozidla měl menší prioritu než zapnutí světel. Velká část problematiky priority jednotlivých zpráv, byla řešena v předchozích pracích, ale s ohledem na pohon, který do této doby nebyl úplně vyřešen, se bude muset doladit mnoho. Správná funkce řízení pohonu a spolupracujících systémů je nesmírně důležitá, co se týče bezpečnosti pohybu vozidla. Nyní budou rozebrány jednotlivé stavy, ve kterých se může vozidlo nacházet a jak se budou jednotlivé systémy chovat.

### **2.1.1 Stání vozidla**

Stáním vozidla se rozumí, zastavení vozidla, nebo jeho stav těsně před uvedením do chodu, nikoliv odstavení v garáži. Je důležité řešit stav jednotlivých systémů, kvůli úspoře elektrické energie, které u elektromobilu není nikdy nazbyt.

Všechny jednotky jsou ve stavu připraven. Na sběrnici probíhá plnohodnotná komunikace. Světelné zdroje vozidla jsou aktivovány podle požadavků obsluhy. Pomocná parkovací brzda je aktivní. Měníče pro řízení pohonu jsou aktivní a je připojeno i jejich silové napájení. Pokud ale jednotka pohonu vyhodnotí dobu stání jako dlouhou (déle než 30 s) odpojí silové napájení a následně i měniče z důvodu úspory energie. V tomto stavu nedochází k významné součinnosti elektronických systémů vozidla.

### 2.1.2 Rozjezd vozidla

V tomto přechodovém stavu, kdy stojící se vozidlo dává do pohybu, už dochází ke spolupráci elektronických systémů. Aby se vozidlo nepohnulo v nežádaném směru je až do poslední chvíle brzděno pomocnou parkovací brzdou a teprve po zadání požadované rychlosti dojde k odbrzdění. Tento stav za obsluhu řeší vzájemná spolupráce elektroniky brzd a pohonu, obsluha pouze zadává požadovanou rychlost prostřednictvím pohybu páky vysílačky, žádnou operaci s brzdami provádět nemusí.

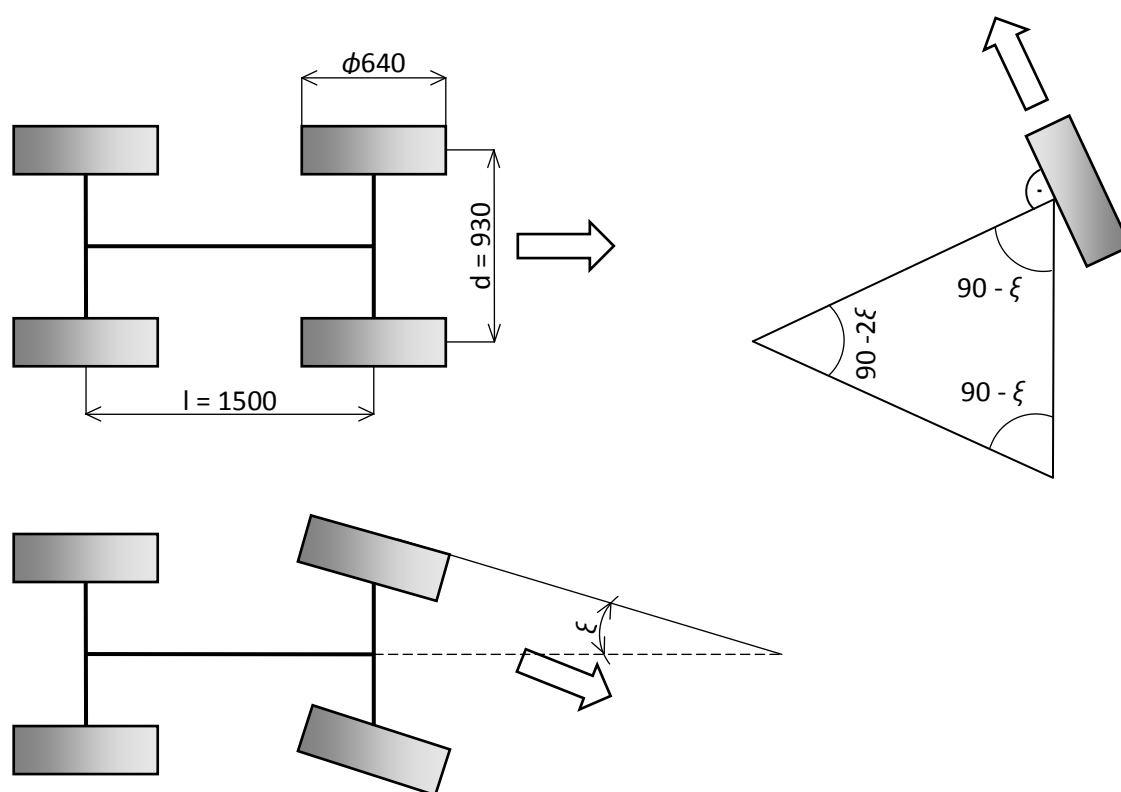
### 2.1.3 Průjezd zatáčkou

Technicky poměrně náročný z hlediska řízení pohonu je právě tento stav, jelikož každé kolo vozidla má vlastní motor a je individuálně řízena jeho rychlost otáčení. Nenalezneme zde mechanické spojení kol skrze diferenciál jako u konvečních vozidel. Musíme funkci diferenciálu vyřešit elektronicky – tedy v řídicím programu pohonu, v závislosti na vstupních veličinách. Při průjezdu zatáčkou by jinak docházelo k trhavému pohybu kol a zvýšením síly potřebné k udržení požadovaného směru vozidla. Naopak při správném návrhu elektronického diferenciálu, dojde ke snížení ovládací síly volantu. Další možnost, která se u toho typu pohonu nabízí, je diferenciální řízení podvozku. Tento způsob využívají pásová vozidla, nebo terénní vícenápravová vozidla. Úskalím diferenciálního řízení podvozku je nízká rychlost při zatáčení a zvýšené opotřebení pneumatik. Výhodou tohoto systému je absence natáčecí nápravy a všech komponent s tím spojených. Vede to k velké úspoře místa a zjednodušení zavěšení náprav a absenci systému, který může být zdrojem poruch. Hlavní využití nalezneme u terénních vozítek, kde rychlost není to nejdůležitější a opotřebení pneumatik není takové, z důvodů menšího tření než na asfaltovém povrchu. Vozidlo Democar je pro první vývojovou fázi osazeno konvečním typem řízení s jednou natáčecí nápravou. Do budoucna se počítá se systémem IWD, kde by byla možnost natáčení i zadní nápravy a proto je pro toto vozidlo systém diferenciálního řízení podvozku nevhodný.

Vozidlo Democar zatáčí díky spolupráci jednotky servořízení a jednotky pohonu. Vstupní informaci (úhel natočení volantu) vysílá operátor skrze vysílačku, signál je zpracován centrální jednotkou a vyslán na sběrnici. Pro jednotku pohonu je důležitá ještě požadovaná rychlost, aby mohla v závislosti na úhlu natočení volantu vypočítat rychlosti jednotlivých kol. V dosavadním řešení vozidla byl na sběrnici k dispozici úhel natočení volantu, ale pro co nejpřesnější řízení elektronického diferenciálu je potřeba znát přesný

úhel natočení kol. Pro tento účel je zapotřebí experimentálně stanovit závislost úhlu natočení volantu a kol. Předpoklad je, že úhel natočení volantu a kol je přibližně totožný z důvodu použité konstrukce řízení, kde jsou klasická řídítka spojená přes jednoduchý pákový mechanismus a kulový čep řízení přímo s natáčeným kolem.

Pro modelový příklad průjezdu zatáčkou byla provedena simulace. Výsledkem simulace jsou vypočtené rychlosti vnitřního a vnějšího kola při průjezdu zatáčkou podle zvolených parametrů. Na Obrázek 3 jsou základní rozměry vozidla, které jsou potřebné do simulace.

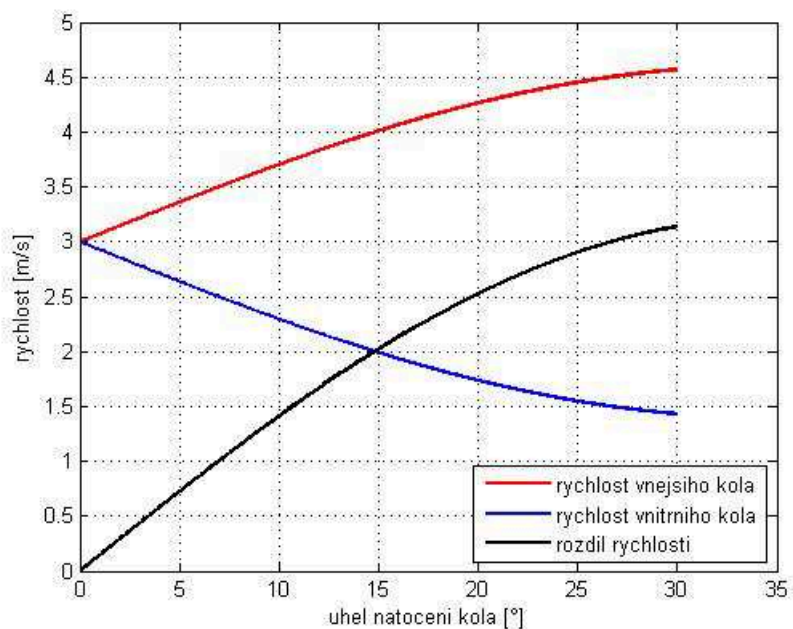


Obrázek 3. Základní rozměry vozidla pro výpočet elektronického diferenciálu

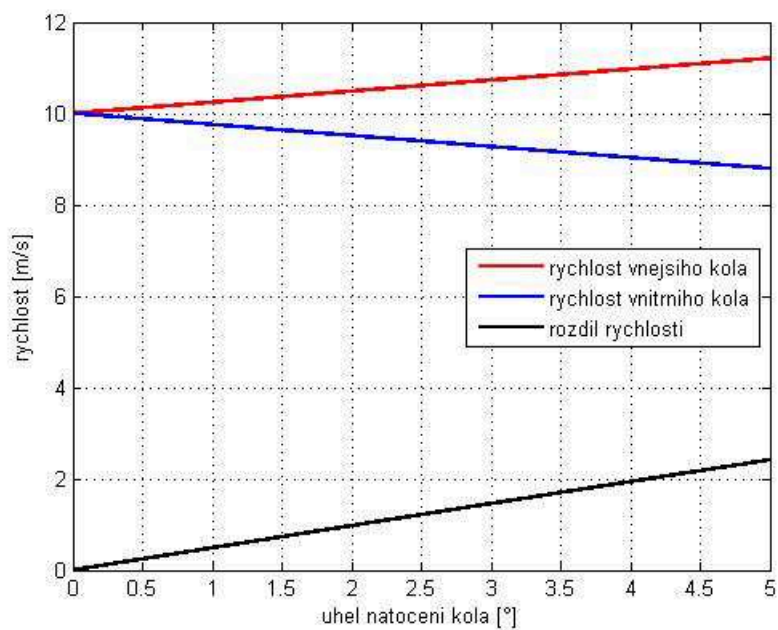
Vzorec 2.1, který v upravené formě je vhodný i pro použití v řídicím systému vozidla, vypočítává rychlosti vnitřního a vnějšího kola při průjezdu zatáčkou.

$$v_{1,2} = v \cdot \left(1 \pm \frac{d}{\frac{2 \cdot l \cdot \sin(90^\circ - \xi)}{\sin(2 \cdot \xi)}}\right) \quad (2.1)$$

Simulace byla provedena pro dva vybrané případy. V prvním případě (Obrázek 4), nízká rychlost a velký úhel natočení kol. V druhém (Obrázek 5), vyšší rychlost a malý úhel natočení kol.



Obrázek 4. Závislost rychlosti kol na úhlu natočení volantu (3m/s 15°)



Obrázek 5. Závislost rychlosti kol na úhlu natočení volantu (10m/s 5°)

#### 2.1.4 Brzdění vozidla

V době tvorby této práce vozidlo Democar nebylo vybaveno plnohodnotným brzdným systémem, pouze tzv. elektronickou parkovací brzdou. V dalších vývojových verzích se počítá s aktivními podvozkovými systémy, na které je dopředu připravena realizovaná jednotka pohonu.

Současně jako hlavní zdroj brzdné síly je brzdný moment elektromotoru přední nápravy, do budoucna i zadní. Každý motor je schopen vytvořit brzdný moment až 43,5 Nm. Takže ke zpomalení dochází pomocí brzdění elektromotorem a při nulové rychlosti je vozidlo proti rozjetí navíc jištěno elektronickou parkovací brzdou. Je možnost udržet vozidlo v klidu i pomocí elektromotorů, ale z důvodu vyšší energetické náročnosti se této možnosti nevyužívá.

Jak již bylo zmíněno, počítá se v navazující práci s vývojem hlavního brzdového systému, při zachování současného řešení elektrické parkovací – bezpečnostní brzdy. Nový systém by měl být dle předpokladů postaven na základě konvenční elektrohydraulické jednotky BOSCH. Zároveň se zde nabízí testování dosud komerčně nevyužívaných možností při brzdění vozidla, např. realizace funkce ABS případně ASR, avšak pro aktivní nasazení a vývoj těchto systémů by bylo potřeba dalších snímačů na vozidle. Všechny tyto možnosti a mnoho dalších je obsahově nad rámec této práce, kde je hlavním cílem zprovoznění pohonu jako takového a řešení komunikace se zbytkem vozu.

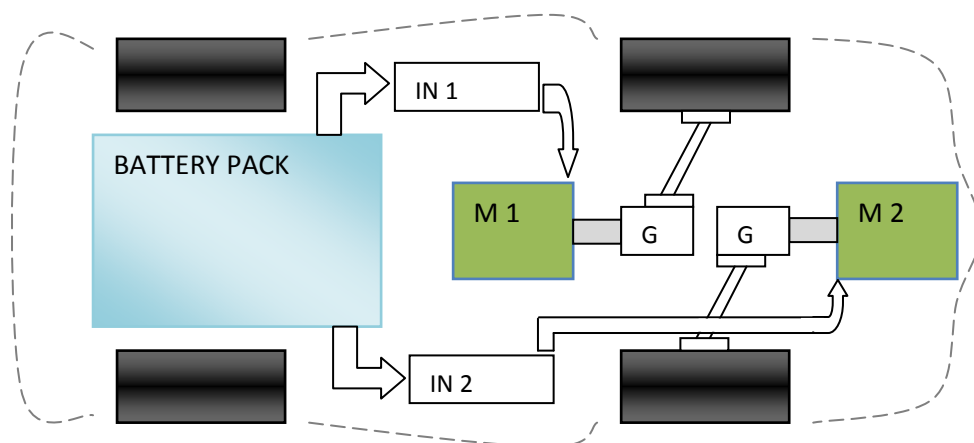


### 3 Pohon pro vozidlo Democar

V návaznosti na předchozí práci [9], která se zabývala podrobným návrhem pohonu vozidla Democar, jsou zde uvedeny vybrané komponenty s jejich základním popisem, vlastní zapojení a nastavení. Detailní výpočty a popisy návrhu pohonu, jsou také součástí předchozí práce [9], proto zde nejsou uvedeny, ale jsou považovány za hotovou věc a je na ně brán ohled. Dalším vývojovým stupněm v návrhu pohonu je řídicí jednotka pohonu (DCU), která je hlavním cílem této práce.

#### 3.1 Popis koncepce pohonu Democar

Pohon obstarávají dva elektromotory spojené přes převodovku a poloosu s kolem. Motory jsou vůči kolu pootočené o  $90^\circ$  kvůli způsobu zástavby. Proto je mezi kolo a motor vložena převodovka s poměrem 1:1, ale vstupní a výstupní hřídel spolu svírá úhel  $90^\circ$ . Poloosa je klasické konstrukce s dvěma homokinetickými klouby na koncích je jeden pevně spojen s kolem, druhý s převodovkou. Tok energie je tedy přímo směřován na každé kolo přední nápravy zvlášť a otáčky motoru odpovídají otáčkám kola. Pohled na technické řešení na Obrázek 6.



Obrázek 6. Navrhovaná koncepce pohonu pro vozidlo Democar

#### 3.2 Motor Baumüller DSC100-S64U

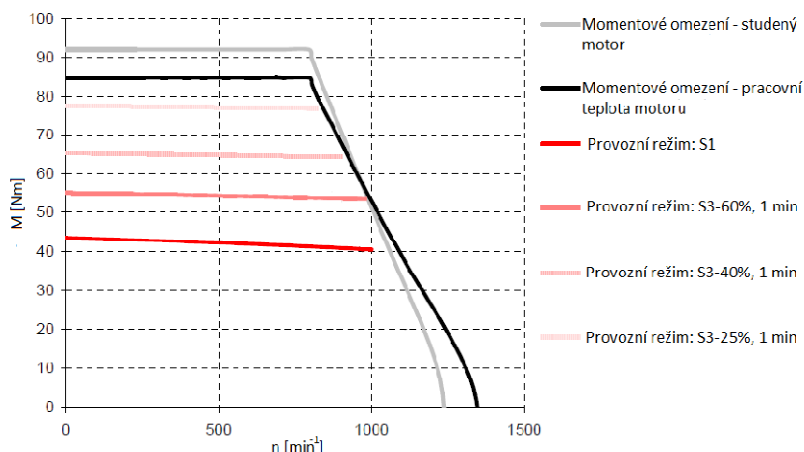
Pro pohon každého kola je využit tento motor. Jedná se o 3 fázový synchronní motor s permanentními magnety, 10-ti pólový. Současně jsou poháněna pouze kola přední nápravy, ale všechny systémy jsou navrhnuty a připravovány pro systém 4x4. Motory

při pohánění přední nápravy by měli podle výpočtu poskytovat vozidlu dostatečnou dynamiku, podle výsledků z předchozí zmiňované práce zabývající se návrhem pohonu.

Parametry použitého elektromotoru jsou v Tabulka 1. Při uvažování maximálních otáček a průměr kola 0,63 m, může vozidlo dosahovat maximální teoretické rychlosti 33,5 m/s, což je přibližně 120 km/h. Tento příklad je pouze pro vytvoření si představy o možnostech a potenciálu dané konstrukce vozidla s použitým pohonem. Zároveň nastává otázka, jestli takové hodnoty rychlosti pro demonstrační účely jsou potřeba. Uvažované rychlosti jsou do 15 – 20 km/h. Aby bylo využito celého otáčkového rozsahu motoru, měla by vložená převodovka mít redukční převod v poměru okolo 1:5. Tyto návrhy jsou spíše pro další vývojové stupně vozidla Democar, ale je důležité na ně poukázat.

Baumüller DSC100-S64U		
Parametr motoru	Zkratka	Hodnota
jmenovité otáčky	$n_N$	$1000 \text{ min}^{-1}$
klidový moment	$M_O$	43,5 Nm
klidový proud	$I_O$	9,9 A
maximální klidový moment	$M_{Omax}$	84 Nm
maximální klidový proud	$I_{Omax}$	22,6 A
jmenovitý výkon	$P_r$	4,2 kW
jmenovitý moment	$M_r$	40,5 Nm
jmenovitý proud	$I_r$	9,2 A
momentová konstanta	$k_{Tr}$	4,4 Nm/A
jmenovitá frekvence	$f_r$	83,3 Hz
setrvačnost rotoru	$J$	$73,5 \text{ kg cm}^2$
hmotnost	$m$	30 kg

Tabulka 1. Parametry motoru DSC 100



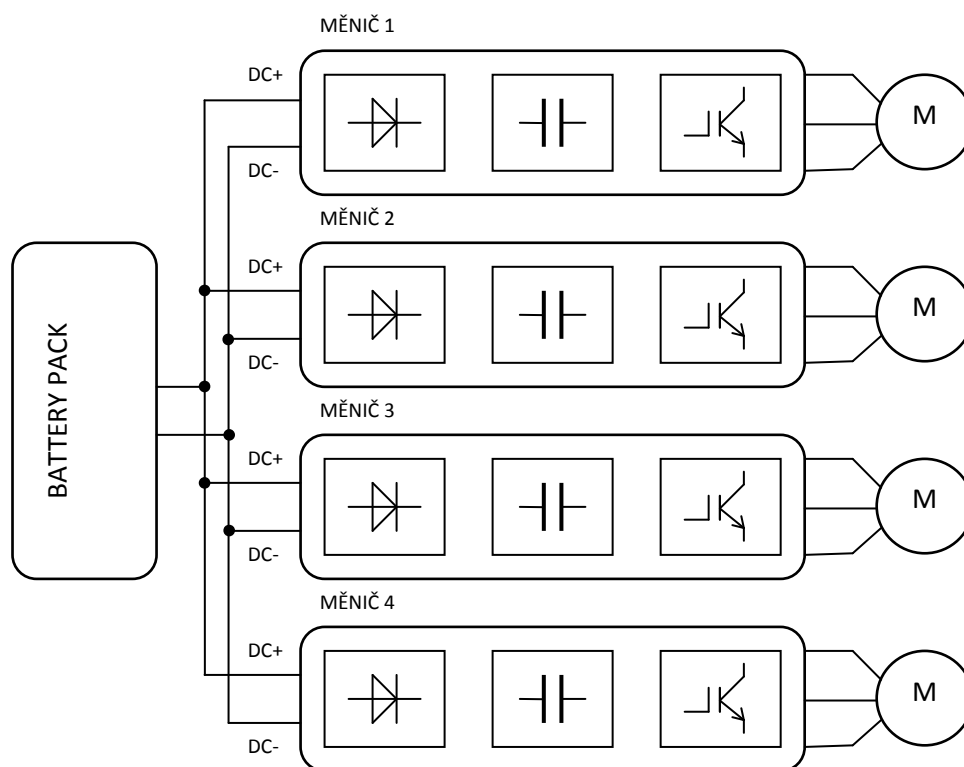
Obrázek 7. Momentové charakteristiky motoru pro jednotlivé provozní režimy [2]

Momentové charakteristiky pro jednotlivé provozní režimy motoru na Obrázek 7 poukazují na vlastnosti motoru. Maximálního momentu motoru, jak hnacího tak brzdného, může být využito od nulových otáček, což je pro aplikaci v elektromobilu důležité. Při intenzivním brzdění motorem může být krátkodobě využito maximálního brzdného momentu  $2 \times 84 \text{ Nm}$  (jsou uvažovány dva přední motory).

### 3.3 Měnič kmitočtu Baumüller b maXX 4423-ST0-01200-03

*V aplikaci pohonu Democar je měnič Baumüller využíván k řízení motoru, ale pouze v režimu střídače. Napájení je stejnosměrné z battery packu přímo do mezipřívodu měniče. Principiální zapojení je uvedeno na blokovém schématu (*

Obrázek 8).



Obrázek 8. Blokové schéma zapojení pohonu (pro verzi 4x4)

Vytipovaný měnič byl původně určen pro průmyslové použití. Jelikož vozidlo bude provozováno pouze v laboratorních podmínkách, tak je to postačující. Pro plnohodnotné nasazení vozidla by tento měnič musel být zásadně upraven z důvodu nízkého krytí a celkově extrémním požadavků na elektroniku v automobilu. Proto v dalších verzích

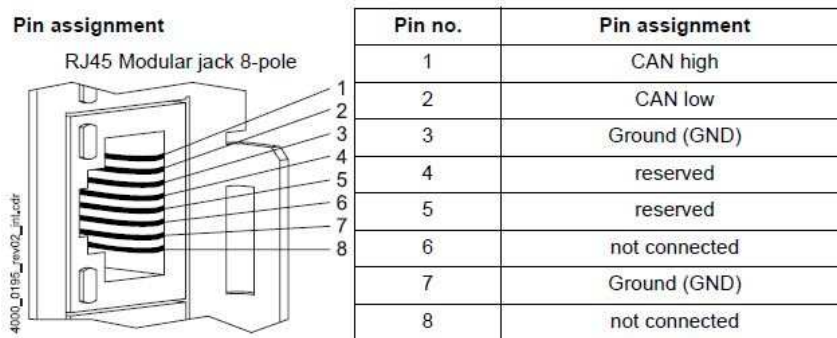
vozidla Democar je uvažováno s vývojem vlastního měniče splňujícího požadavky automotive aplikací.

<b>Baumüller b maXX 4423-ST0-01200-03</b>	
<b>Parametr měniče</b>	<b>Hodnota</b>
jmenovitý příkon	4,8 kVA
jmenovitý proud	12,4 A
činitel harmonického zkreslení vstupního proudu	109 %
maximální vstupní proud	23,2 A
jmenovité napětí meziobvodu	540 V
kapacita meziobvodu	470 uF
doba vybíjení meziobvodu	340 s
výstupní napětí	3 x 0 .. 370 V
výstupní frekvence	0 .. 450 Hz
výstupní jmenovitý proud 4 kHz	max 11,0 A
výstupní jmenovitý proud 8 kHz	max 8,0 A
výstupní špičkový proud 4 kHz	max 22,0 A
výstupní špičkový proud 8 kHz	max 17,6 A
maximální doba trvání špičkového proudu	60 s
výstupní svorky stejnosměrného meziobvodu	max 5 kW
přípustný proud chopper rezistoru	max 13 A
velikost externího chopper rezistoru	$\geq 60 \Omega$
spouštěcí napětí chopper rezistoru	780 V
špičkový výkon chopper rezistoru	10 kW
přípustný stálý výkon chopper rezistoru	5 kW
ztrátový výkon na hlavním napájecím napětí	150 W
ztrátový výkon na řídicím napětí	max 63 W
proud řízení brzdy	max 0,5 A

*Tabulka 2. Parametry měniče Baumüller 4423*

### 3.3.1 Základní nastavení měniče

Pro potřeby vozidla Democar je nutné měniče doplnit o komunikační kartu pro sběrnici CANopen. Před zapojením karty do měniče se pomocí DIP přepínačů umístěných na kartě nastaví požadovaná komunikační rychlost a adresa sběrnice. Pro každý měnič v síti musí být nastavená jedinečná adresa. Připojení měniče ke sběrnici CAN je skrze konektor RJ 45. Obsazení jednotlivých pinů konektoru je zobrazeno na Obrázek 9. Propojení sběrnice mezi měniči může být pomocí přímého ethernetového kabelu paralelně k sobě, k tomu se využije dvojité zásuvky na kartě, není potřeba vyrábět speciální kabel.

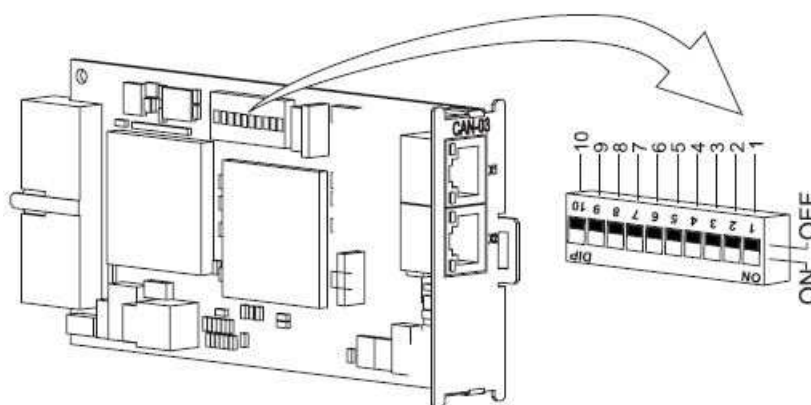


Obrázek 9. Pinout konektoru CANopen karty [5]

Komunikační rychlost sběrnice CANopen je nastavena na 1 Mbit/s. Pro každý měnič, resp. motor, je nastavená jiná adresa (viz Tabulka 3). Podrobný popis nastavení DIP přepínačů a jejich význam je v literatuře [5].

motor	číslo měniče	adresa (ID)	CAN (ID)
levý přední	1	ID 3	1539
pravý přední	2	ID 4	1540
levý zadní	3	ID 5	1541
pravý zadní	4	ID 6	1542

Tabulka 3. Identifikátory CAN pro měniče



Obrázek 10. CANopen modul pro měnič BM4423 [5]

Pro napájení řídicí části měniče je využito stejnosměrné napětí o úrovni 24 V. Důležité při zapínání měničů je prvně sepnout napájení řídicí části, vyčkat přibližně 10 vteřin a následně připojit silovou část jinak může dojít k poškození měniče. Napájení silové části

měníče bude prostřednictvím battery packu stejnosměrným napětím přibližně 600 V. Podrobný popis zapojení napájecích napětí lze nalézt v literatuře [4]. Navrhovaná jednotka bude mít mimo jiné i za úkol inicializaci měničů a připojování řídicího a silového napájení, následně i jejich odpojení.

### **3.3.2 Komunikace s měničem**

Alfou a omegou celého řízení pohonu je právě zvládnutí komunikace s měničem skrze sběrnici CANopen. První kroky byly provedeny v předchozí práci [9], kde se s využitím USBtoCAN adaptéru otestovala komunikace ručním posíláním zpráv skrz adaptér.

Další úroveň v této oblasti byla komunikace s měničem prostřednictvím vývojového kitu TWR PXS20, kde komunikaci řídil mikrokontrolér PPC5643L na základě programu. Stav komunikace byl sledován CAN analyzátozem. Efektivního řízení pohonu se může dosáhnout teprve zalgoritmováním celého procesu komunikace a dalších souvisejících procesů. V další části bude popsán návrh řídicí jednotky, která bude zastávat úlohu komplexního řízení pohonu vozidla Democar.

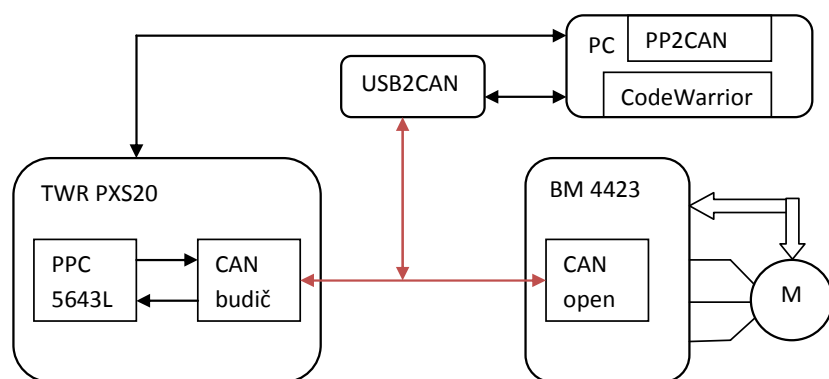
## 4 Návrh DCU

S ohledem na celkovou koncepci elektroniky vozidla Democar, je proveden i návrh jednotky pro řízení pohonu vozidla. Využilo se věcí, které se už na tomto vozidle staly standardem. Řízení obstarává mikrokontrolér PPC5643L. Konektor jednotky je identický se všemi jednotkami na voze i obsazení pinu dodržuje určená pravidla. Samozřejmě i u zbytku komponent je využito stávající součástkové základny. V návrhu jednotky je větší díl věnovaný popisu navrhovaných komponentů a schémat vždy s místnou zmínkou v návaznosti na řídicí program.

### 4.1 Základní testování komponent

Návrhu předcházelo podrobné nastudování všech předchozích prací a seznámení se s aktuálním stavem systémů vozidla. Se zaměřením na věci týkající se pohonu vozidla tak, aby zbytečně nedocházelo k vymyšlení již hotových věcí a zároveň aby se řešení pohonu na vozidle Democar dostalo do finální podoby.

V prvotní fázi bylo cílem roztočit motor na požadované otáčky s vlastní definovanou dobou rozběhu a doběhu motoru. Veškeré parametrování měniče probíhalo za pomoci vlastního programu napsaného ve vývojovém prostředí CodeWarrior 10.4, který se nahrál do paměti mikrokontroléru PPC5643L na vývojovém kitu TWR PXS20. Propojení mezi měničem a kitem bylo skrze sběrnici CAN, zprávy na sběrnici musí splňovat protokol CANopen.

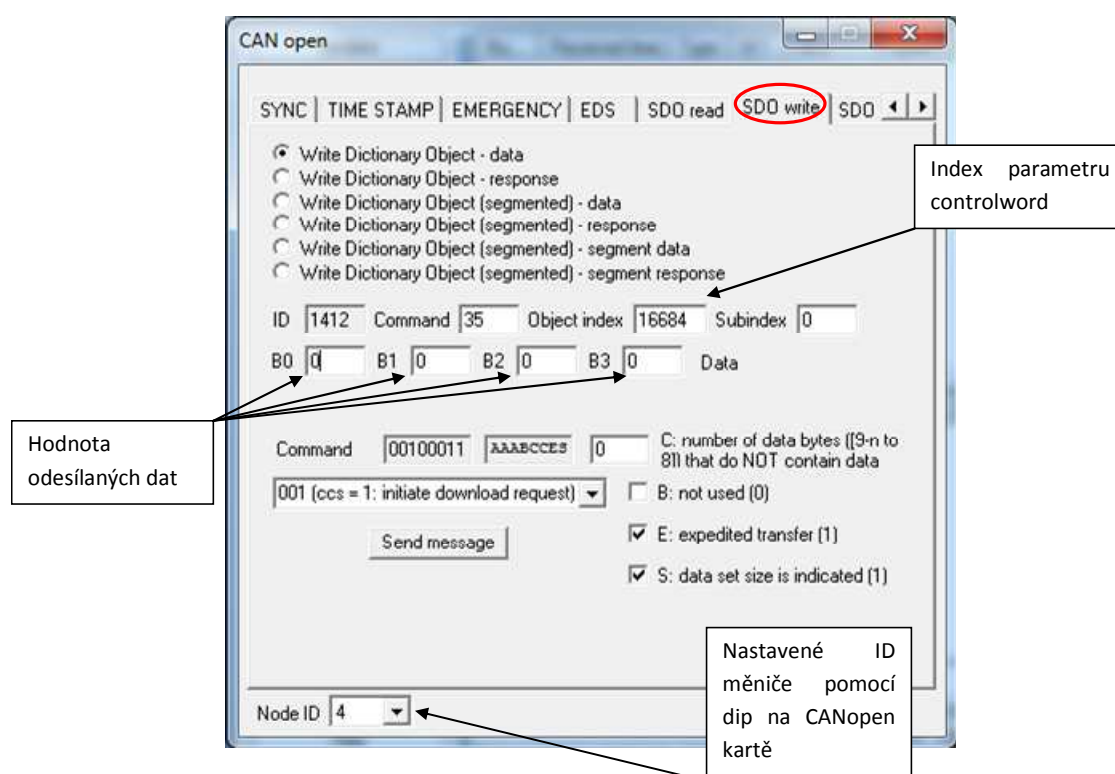


Obrázek 11. Blokové schéma zapojení komponent pro vývoj řídicího programu

Pro vytváření takto specifických zpráv a plnění jich daty, byla napsaná funkce v řídicím programu. Aby případně mohlo dojít k odeslání dat do měniče skrze USB2CAN převodník musel být do programu PP2CAN nahrán *eds* soubor, který je k dispozici

na stránkách výrobce měniče. I u tak jednoduchého úkolu nastalo několik otázek hlavně v oblasti softwaru, které musely být zodpovězeny před dalším pokračováním. Konkrétně přesný tvar dat odeslaných do měniče, tak aby na ně správně zareagoval, a přesný význam jednotlivých bajtů na použitých parametrech. V této oblasti bylo několik dotazů položených přímo na výrobce měniče, na které bylo následně více či méně zodpovězeno. Některé věci v komunikaci nakonec byly odladěny metodou pokus omyl. Na Obrázek 11 je zapojení komponent, co byly použity pro první testovací fázi. Teprve po úspěšném otestování mohlo dojít k sestavení základních požadavků na navrhovanou jednotku pohonu.

Vše bylo zapojeno tzv. na stole, silové napájení měniče obstarávala 3 fázová síť a bylo využito oddělovacího transformátoru s regulací DTS 400/400/10. Řídící část měniče napájel laboratorní zdroj Diametral P230R51D. Napájecí zdroje nejsou ve schématu uvedeny. Propojení mezi měničem a motorem bylo pomocí speciálního kabelu, kde v jednom konektoru je silové napájení, vodiče k čidlu teploty a vodiče k brzdě motoru. Dále je využíván signálový kabel pro propojení motoru a měniče. Podrobný popis zapojení a význam jednotlivých zdírek na měniči je v literatuře [3].

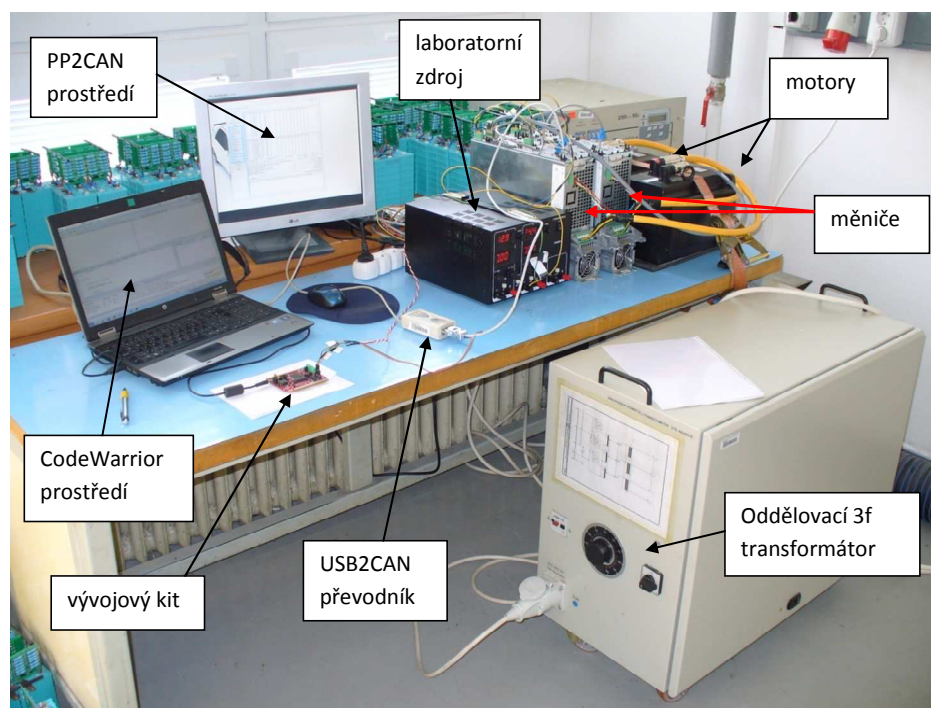


Obrázek 12. Ukázka nastavení karty SDO write (pro zablokování měniče)



Vývojový kit TWR PXS20, měnič a USB2CAN převodník byly společně propojeny skrze CAN sběrnici. Hlavní slovo na sběrnici měl vývojový kit, prostřednictvím kterého byly generovány příkazy do měniče. USB2CAN převodník sloužil pouze k monitorování jednotlivých zpráv, nicméně nabízel možnost plnohodnotně zasáhnout do komunikace. V takovém případě by se musely správně nastavit odesílána data a pro jejich odesílání použít v programu PP2CAN následující nabídku *Can protocols -> CANopen a kartu SDO write* (ukázka na Obrázek 12). Kit i převodník byl napájen z USB portu počítače, na kterém bylo spuštěné vývojové prostředí CodeWarrior, kde bylo možné sledovat běh programu (běžícího na procesoru) a také jej dále ladit. Na počítači také běžel program PP2CAN k ovládání převodníku a monitorování sběrnice CAN.

Na takto zapojeném stanovišti proběhla počáteční vývojová fáze jednotky pro řízení pohonu. Hlavně z hlediska řídicího programu byly odladěné možnosti komunikace a limity jednotlivých částí. Pro další stupeň realizace, kde je již počítáno se dvěma budiči CAN sběrnice (zejména pro testování komunikace se zbytkem vozu, vedle komunikace s měniči), bylo potřeba navrhnout a sestavit testovací jednotku pohonu. Kit bohužel nenabízí možnost využití obou CAN modulů procesoru.



Obrázek 13. Pohled na zapojení komponent ve vývojové fázi

K vyvinutí testovací jednotky bylo potřeba dát dohromady požadavky na řízení pohonu a všech okolních periférií s ním spojených. Tak aby navrhnutá testovací jednotka dokázala splnit plnohodnotně řídicí funkci pohonu vozidla a ne jen některých částí.

## 4.2 Požadavky na DCU

Níže jsou rozepsány základní hardwarové požadavky a parametry na jednotku pohonu.

- řídicí mikrokontrolér PPC5643L
- využití aktuální součástkové základny na vozidle Democar
- řídicí software napsán v prostředí CodeWarrior
- napájecí napětí 12 VDC
- pomocné napětí 24 VDC
- možnost spínání pomocného napětí nezávisle na 3 výkonové stupně
- 2x CAN ( CANmotor, CANcontrol)
- zapojení konektoru dle standartu
- kompaktní provedení celé DCU
- možnost použití i pro pohon 4x4

**Řídicí mikrokontrolér PPC5643L** je využit ve všech elektronických jednotkách ve vozidle Democar. Proto patří mezi základní požadavky i při návrhu DCU. Jedná se o 32 bitový procesor vyráběný firmou Freescale. Základní parametry mikrokontroléru jsou.

- dvě jádra každé s frekvencí 120 MHz
- 1 MB flash, 128 KB SRAM
- napájení 3,0 – 3,6 V
- 2 x FlexPWM na čtyřech 16-ti bitových kanálech
- 2 x LINFlexD kanál
- 3 x DSPI s automatických chip selectem
- 2 x FlexCAN 2.0B
- FlexRay modul
- 2 x 12-ti bitový ADC převodník na 16-ti portech

Mimo jiné důležité procesy, je hlavní využití procesoru pro řešení a správu komunikace skrze sběrnici CAN (včetně diagnostických procedur). Na této jednotce budou

využity oba FlexCAN moduly procesoru. Z tohoto důvodu zde bude trochu více rozepsána specifikace FlexCAN modulu u použitého mikrokontroléru.

FlexCAN modul je komunikační ovladač, který v sobě obsahuje specifikaci Bosch CAN protokolu 2.0B. CAN protokol byl navržen pro primární použití jako sériová sběrnice do vozidel pro plnění konkrétních požadavků. Práce v reálném čase, spolehlivý provoz v náročném prostředí vozidla, elektromagnetická komptabilita. [6]

FlexCAN modul má následující funkce :

- plnou podporu protokolu 2.0B
  - standardní délka rámce
  - rozšířená délka rámce
  - 0 až 8 bajtů délka dat
  - programovatelná frekvence až 1 Mbit/s
- zásobník na 32 zpráv o délce dat 0 až 8 bajtů
- vysoká odolnost elektromagnetickému rušení

**Využití aktuální součástkové základny na vozidle Democar.** Tento požadavek je racionální, pokud vznikne na jakékoliv jednotce porucha, tak stačí mít poměrně malou součástkovou základu pro opravu všech jednotek.

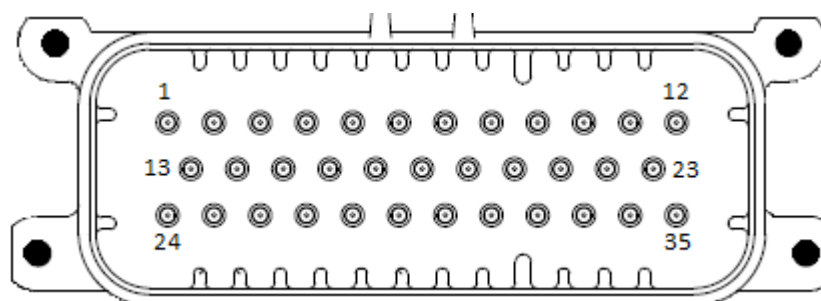
**Řídicí software napsán v prostředí CodeWarrior.** Toto nebylo striktně vyžadováno, nicméně s ohledem na skutečnost, že předchozí aplikace byly řešeny v tomto prostředí, bylo tak pro tvorbu kódu zachováno využití prostředí CodeWarrior. S nezanedbatelnou výhodou bylo využito knihovních funkcí napsaných v tomto prostředí pro použitý procesor.

**Napájecí napětí 12 VDC.** Hlavní napájecí napětí všech jednotek a komponent vozidla je z 12 V palubní sítě.

**Pomocné napětí 24 VDC.** Měníče pro napájení své řídicí části využívají napětí 24 VDC, odebíraný proud měniče by neměl přesáhnout 2 A. Jelikož měniče budou spínány skrze jednotku pohonu, potřebuje zde být toto pomocné napětí. S tím souvisí i další požadavek (možnost spínání pomocného napětí nezávisle na 3 výkonové stupně), kde dva koncové stupně budou využity pro napájení měničů. Vždy dva měniče na jeden koncový stupeň. A další bude sloužit ke spínání výkonového relé, které bude připojovat silové napájení měničů.

**2x CAN ( CANmotor, CANcontrol).** Jak už bylo uvedeno výše, jednotka pohonu bude pro svou funkci potřebovat dva CAN moduly. Prostřednictvím jednoho bude komunikovat se zbytkem vozidla (CAN control) a pomocí druhého s měniči motorů (CAN motor). Oba budou na frekvenci 1 Mbit/s. Tvary a specifikace jednotlivých zpráv a identifikátorů jsou po dohodě s vedoucím diplomové práce více popsány ve speciálním neveřejném manuálu.

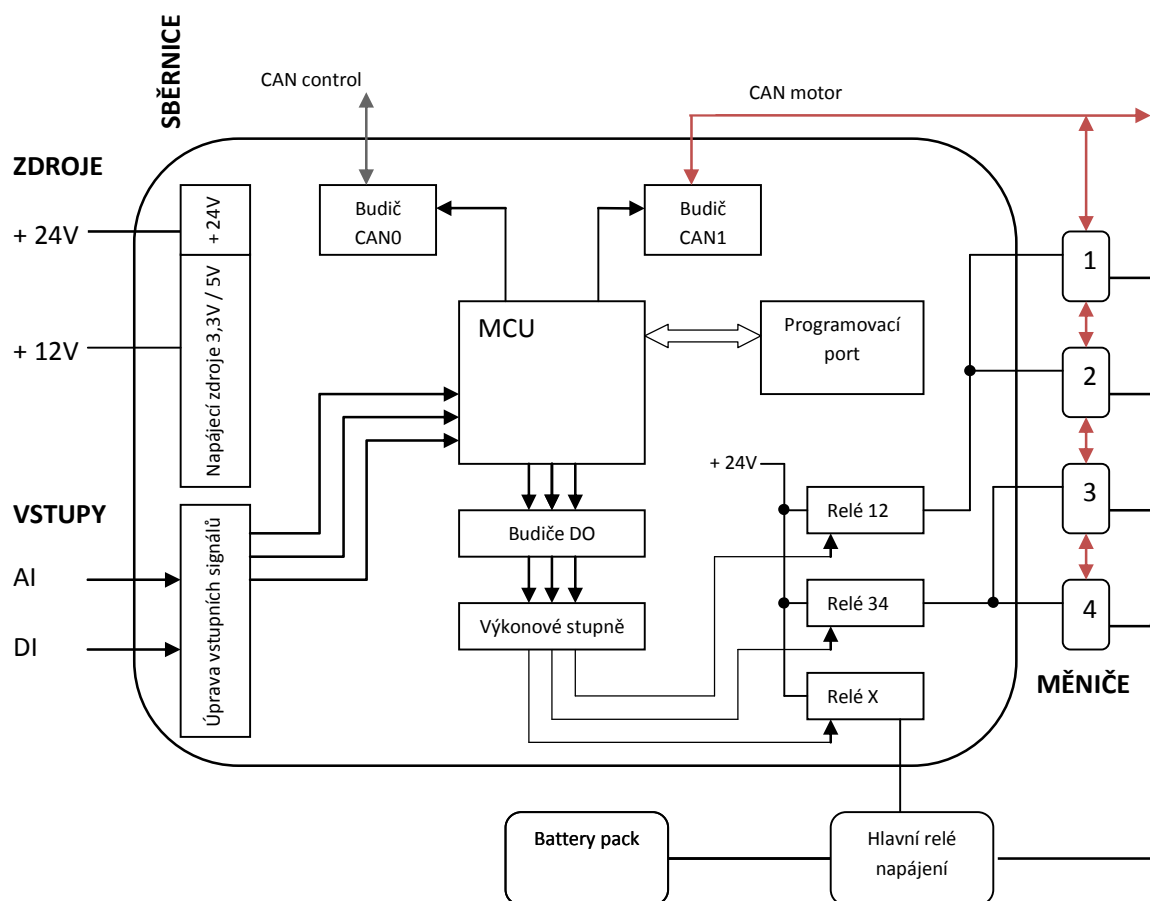
**Zapojení konektoru dle standardu.** Na vozidle je zavedeno, že napájecí a komunikační vedení jsou na všech jednotkách zapojeny na stejné piny konektoru. Detailní popis a význam jednotlivých pinů je uveden v kapitole realizace a její podkapitole kabelový svazek.



*Obrázek 14. Konektor ampseal použitý pro DCU*

### 4.3 Navrhnuté blokové schéma DCU

Po sestavení a vyhodnocení všech požadavků na DCU, bylo navrhnuté blokové schéma jednotky pohonu včetně principiálního zapojení komponent spojených s touto jednotkou. Jednotlivé funkční bloky tvoří napájecí, řídicí, komunikační, programovací a výkonovou část jednotky. V kapitole věnující se realizaci jsou uvedeny konkrétní schémata těchto bloků a je popsána jejich funkčnost.



Obrázek 15. Blokové schéma navrhnuté jednotky pohonu

#### 4.4 Požadavky DCU na systémy vozidla

Mezi hlavní požadavky patří napájecí zdroje pro jednotlivé části DCU a jejich periferií. Napájení řídicí jednotky obstarává 12 V větev společná pro všechny jednotky. Dodává elektrickou energii procesoru a ostatním součástkám na desce. Pro napájení koncových reléových stupňů je potřeba 24 VDC. Toto napětí potřebují řídicí části měničů. A pro napájení silového vstupu měniče je zapotřebí 600 VDC.

Požadavky na zdroje pro pohon vozidla Democar			
Napájecí zdroj	napětí [V]	proud [A]	jištění [A]
řídicí jednotky	12 VDC	0,15 A	0,3 A
řídicí části měničů	24 VDC	1,8 – 4 A	5 A
výkonové části měničů	600 VDC	až 15 A špičkově	20 A

Tabulka 4. Zdroje pro pohon vozidla Democar

## 4.5 Diagnostické funkce DCU

Jednotka pohonu by měla mít v řídicím programu implementovanou funkci vlastní diagnostiky. Toto je žádoucí jednak z hlediska bezpečnosti, kde například při ztrátě komunikace s ostatními jednotkami (případně vysílačkou) musí iniciovat uvedení vozidla do bezpečného stavu. Zároveň musí procedury vnitřní diagnostiky monitorovat veličiny spojené s řízením pohonu a jejich kritické stavy jsou zaznamenávány do paměti závad. Dále prostřednictvím sběrnice CAN dochází k přenosu informací o těchto stavech do dalších jednotek vozidla.

Současně při řešení této diplomové práce byla řešena v souvislosti s vozidlem Democar další diplomová práce, která se přímo specializovala na diagnostiku (vnitřní a uživatelská diagnostika) jednotlivých jednotek vozidla. Jako jedna z vytvořených věcí u této práce byl diagnostický program, který pro svou funkci využívá komunikaci po sběrnici CAN se všemi jednotkami vozu a umožňuje čtení a mazání paměti závad. Dalším rozšířením uvedeného diagnostického programu by mohlo být tzv. nastavení jednotky pohonu. Tímto by se přístup k možnostem řízení pohonu rozdělil na dvě úrovně. Jedna z nich řízení skrze vysílačku, kde pomocí páky zadáváme požadované otáčky motoru, resp. rychlost vozidla. Ale veškeré řízení skrze vysílačku je dáno limity nastavenými v jednotce pohonu. Operátor, který ovládá vozidlo vysílačkou, nemůže tyto limity jakkoliv měnit. A právě pro změnu těchto limitů by sloužila funkce v diagnostickém programu, nastavení jednotky pohonu. Jednalo by se o úroveň přístupu servisního technika, který má veškeré informace o možnostech nastavení jednotlivých parametrů. Jaké parametry by měly být modifikovatelné (skrze toto prostředí) ukáže až reálné nasazení vozidla a jeho potřeby. Navrhovanými parametry jsou např. omezení maximální rychlosti a momentu motoru, trvání rozběhové a doběhové rampy, maximální velikost brzdného momentu, rozdělení výkonu mezi nápravy (verze 4x4), druh řízení podvozku a mnoho dalších. Způsobů jak provést tuto změnu je několik. Jako reálný a částečně již využitý postup na vozidle se zdá být možnost zasílání příkazů z diagnostického programu po sběrnici CAN. Tyto příkazy budou obsahovat hodnotu měněného parametru, které jednotka zpracuje a uloží do příslušné globální proměnné. Veškeré globální proměnné by byly uloženy v paměti flash a při každé změně by se uložili. Každé další spuštění jednotky pohonu by již bylo se změněnými parametry až do doby další změny skrze diagnostický program. Bez této možnosti nastavení pohonu by jediným způsobem, jak přenastavit parametry jednotky, by byl změnou řídicího programu jednotky, což je značně nepohodlné a zdlouhavé.

## 5 Realizace DCU

Sestavení vlastní řídicí jednotky pohonu, bylo rozděleno na dvě hlavní části, hardware – základní desku a software – řídicí program, které bylo možno řešit poměrně nezávisle na sobě. Zároveň při návrhu i následném sestavení bylo nutno zohlednit provázanost mezi deskou a řídicím programem. Prvně byla navržena deska řídicí jednotky, která následně byla zadána do výroby externí firmě (výroba neosazené DPS). V čase, kdy se vyráběla deska, se již pracovalo na programu. V následujících podkapitolách je realizace rozdělena do těchto dvou částí, které jsou podrobně rozebrány.

### 5.1 Hardwarové řešení

Návrh konečné podoby desky probíhal v programu Eagle 7.2.0. Zde bylo sestaveno obvodové schéma desky a je součástí příloh této práce. Na základě sestaveného schématu zapojení byla navržena deska plošných spojů, která je řešena jako dvouvrstvá, s většinou součástek určených pro povrchovou montáž. Podle navržených podkladů byla zadána výroba DPS specializované firmě. Osazení desky probíhalo ručně v laboratorních podmínkách na univerzitě, s využitím mikropájký a horkovzdušné pájecí stanice. Oživení desky probíhalo v několika fázích. Prvně byla testována funkce procesoru a programovacího portu nahráním testovacího programu do paměti procesoru. Druhou fází bylo testování funkčnosti komunikace skrze sběrnici CAN, prvně jednotlivě pro CAN0 a CAN1, poté společně. Naposled byla ověřena funkčnost koncových reléových stupňů. Na vše byly napsány jednoduché testovací programy, které mohou být dále využity, pokud nastane na některé z částí jednotky problém. Součástí oživení desky byla kontrola stability a úrovní napětí na 5 V a 3,3 V větvi. Kontrola proběhla s využitím digitálního osciloskopu. Měření bylo prováděno za běhu programu, kde po sběrnici běžela cyklická komunikace a docházelo ke spínání koncových stupňů (stejně jako při reálném provozu). Vedle toho bylo sledováno rušení napájecích napětí vlivem spínání. Na základě výsledků testů lze konstatovat, že vše fungovalo stabilně a jednotka se nedostávala do neočekávaných stavů. Tímto byla tato fáze testů ukončena a mohlo dojít k testování finální aplikace.

Pro ucelenost informací o jednotce pohonu budou dále rozebrány její jednotlivé části (částečná schémata s funkčním popisem).

### 5.1.1 Napájecí zdroje

Hlavní napájecí napětí je stejnosměrné o hodnotě 12 V. Použité je pouze pro napájení cívek koncových relé. Pro ostatní části muselo být upraveno na hodnotu 5 V a 3,3 V. Pro úroveň 5 V byl využit DC/DC měnič a pro 3,3 V regulátor napětí.

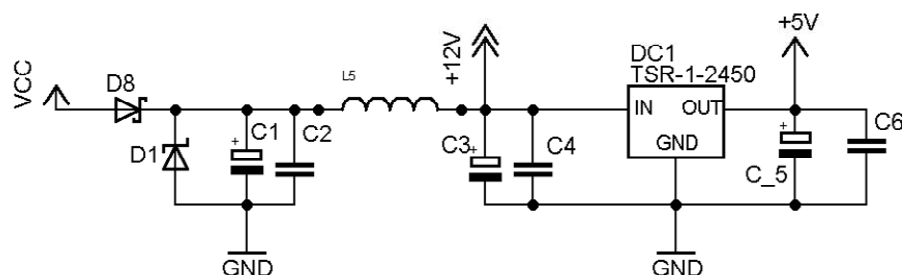
Popis základních parametrů použitého měniče a regulátoru.

#### TSR 1 – 2450

- DC/DC měnič
- vstupní napětí 6,5 až 36 VDC
- výstupní napětí 5 VDC
- výstupní proud max 1 A
- účinnost až 96 %
- teplotní rozsah – 40 až +125 °C

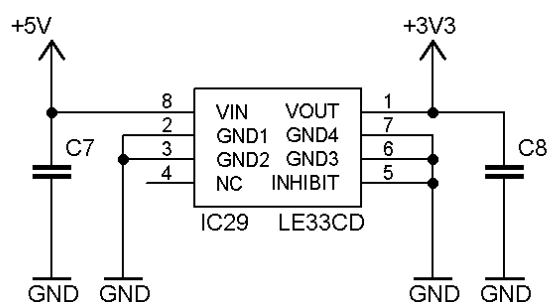
#### LE33CD

- lineární regulátor napětí na 3,3 V
- pouzdro SO 8
- vstupní napětí max 18 V
- výstupní napětí 3,234 – 3,366 V
- výstupní proud max 100 mA
- teplotní rozsah – 40 až +125 °C



Obrázek 16. Schéma zapojení dc/dc měniče TSR 1–2450

Na schématu zapojení DC/DC měniče (Obrázek 16) jsou vidět jednotlivé součástky použité na desce. Dioda D8 je ochranná dioda proti přepólování na vstupu. Transil D1 chrání jednotku proti napěťovým špičkám. Kondenzátory C1 až C6 jsou zapojeny podle doporučení výrobce, taktéž i cívka.



Obrázek 17. Schéma zapojení regulátoru napětí LE33CD



Na schématu zapojení regulátoru napětí (Obrázek 17), je vidět jednoduché zapojení použitého obvodu pouze s filtračními kondenzátory na vstupním a výstupním napětí.

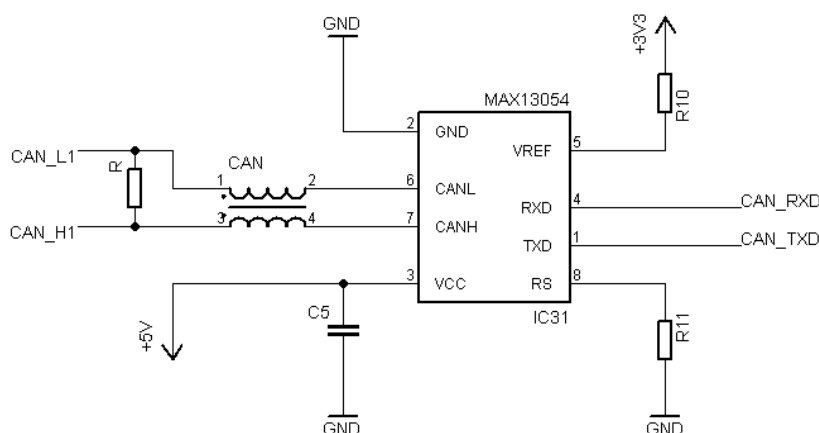
### 5.1.2 Řídicí část

Řídicí část jednotky je tvořena procesorem PPC5643L a pomocnými součástkami, které jsou nezbytné pro správnou funkci procesoru. Z důvodu velikosti a pro přehlednost práce je schéma zapojení procesoru uvedeno v příloze společně se schématy zapojení.

Základní vlastností užitého mikrokontroléru a jeho popis je uveden v kapitole 4.2 Požadavky na DCU a proto zde nebude opakovaně uváděn. V dané kapitole jsou uvedeny veškeré důležité informace o mikrokontroléru. V případě potřeby dalších informací lze toto dohledat v literatuře [14]. Pouzdro procesorového obvodu použitého na jednotce je 144 LQFP, je to smd pouzdro s roztečí nožek 0,5 mm a bylo vybráno z důvodu nižších nároků na ruční osazení na DPS. Důvodem je fakt, že se jedná o automotive čip a dnešní pouzdra obvodů používaná v jednotkách vozidel jsou převážně BGA, které by bylo obtížné pájet a případně měnit v univerzitních laboratorních podmínkách.

### 5.1.3 Komunikační část (CAN)

Veškerá komunikace procesoru jednotky s ostatními systémy vozu a měniči motorů probíhá po sběrnici CAN. Na jednotce jsou přítomny dvě nezávislé sběrnice CAN, které jsou součástí mikrokontroléru. Fyzickou vrstvu tvoří mimo jiné externí budič sběrnice CAN, který signály CAN\_RXD a CAN\_TXD (vysílací a přijímací z procesoru), upravuje na typické napěťové úrovně pro CAN.

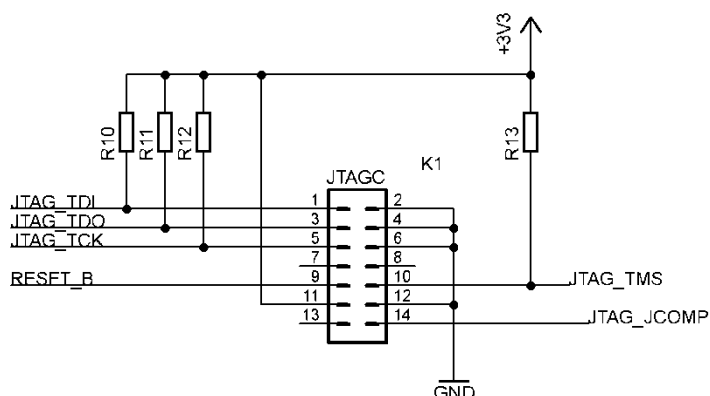


Obrázek 18. Schéma zapojení Can budiče

Na schématu zapojení CAN budiče (Obrázek 18), je typické zapojení budiče podle doporučení výrobce. Rezistor R je ukončovací rezistor sběrnice typická velikost je 120  $\Omega$ . Tlumivka slouží k vyfiltrování signálu. Napájení obvodu je z 3,3 V větve. Pro obě sběrnice CAN je využito identického zapojení budiče.

#### 5.1.4 Programovací port

Programovací port na jednotce je použit k nahrávání a ladění programu v jednotce. Využívá se k tomuto externího programátoru USB Multilink Universal. Úskalím tohoto řešení je fakt, že konektor programovacího portu se nachází přímo na desce jednotky a v případě zapouzdření jednotky by bylo obtížné přehrání programu. Jako řešení se nabízí vyvést potřebné programovací piny do hlavního konektoru jednotky, ale zároveň je nezapojovat do kabelového svazku. A pro přehrávání programu vytvořit speciální kabel, kde by bylo osazeno pouze napájení a programovací piny. Vhodné by bylo tuto změnu provést na všech jednotkách a na programování vybrat piny konektoru, které nejsou zatím v žádné jednotce použity.



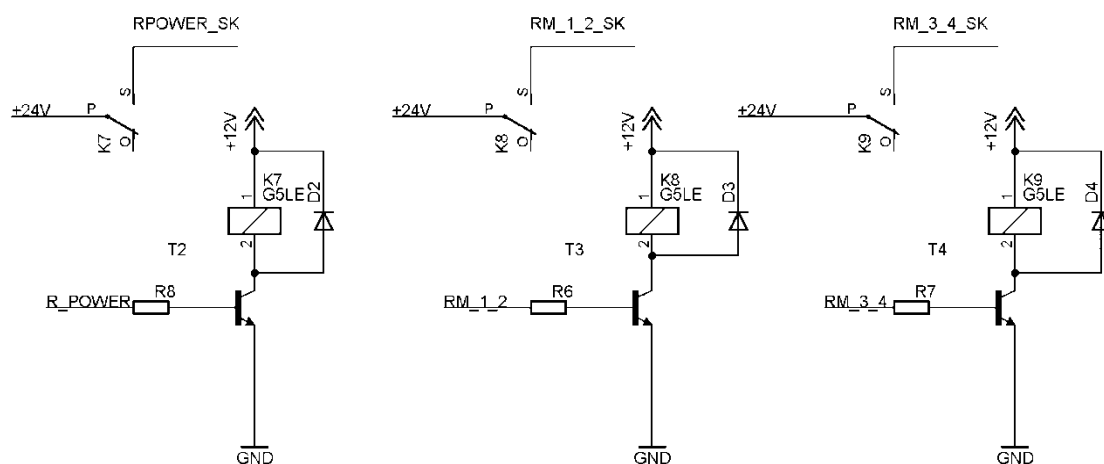
Obrázek 19. Schéma zapojení JTAG programovacího portu

Na schématu (Obrázku 19) je vidět obsazení pinů použitého konektoru. Aktuální rozložení pinů bylo přizpůsobeno programátoru, který byl k dispozici. Všechny popsané vodiče jdou přímo na piny procesoru, značení je standardní, stejně jak uvádí výrobce.

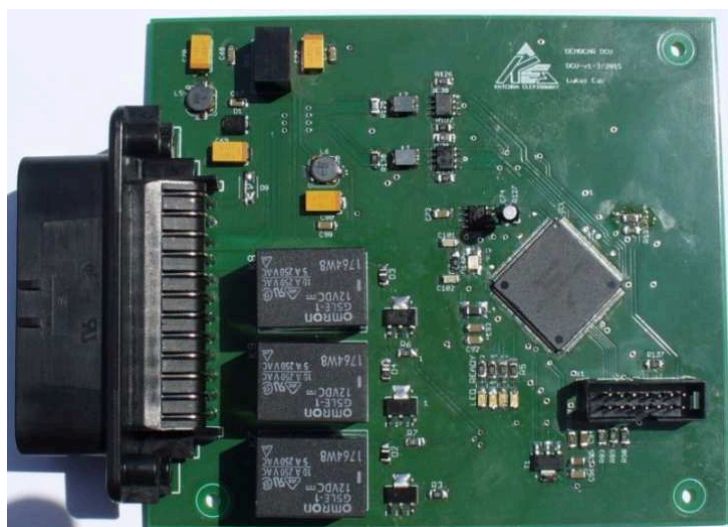
#### 5.1.5 Reléové koncové stupně

Pro potřeby řízeného připojování napájecího napětí k řídicí a silové části měničů bylo využito relé. Ovládací cívka relé je na 12 V (DC), po připojení napájení je trvale spojena s +12 V a pomocí NPN tranzistoru je spínáno napájecí napětí cívky na zemnicí potenciál. Báze tranzistoru je skrze předřadný rezistor spojena s výstupním digitálním pinem procesoru.

Relé s označením RM\_1\_2\_SK je použito pro napájení měničů přední nápravy. Relé RM\_3\_4\_SK je voleno s ohledem na budoucí řešení pro napájení měničů zadní nápravy. Relé RPOWER\_SK má být využito pro ovládání výkonového stykače připojujícího napětí battery packu do meziobvodu měničů. V současné fázi je battery pack v řešení.



Obrázek 20. Schéma zapojení reléových koncových stupňů



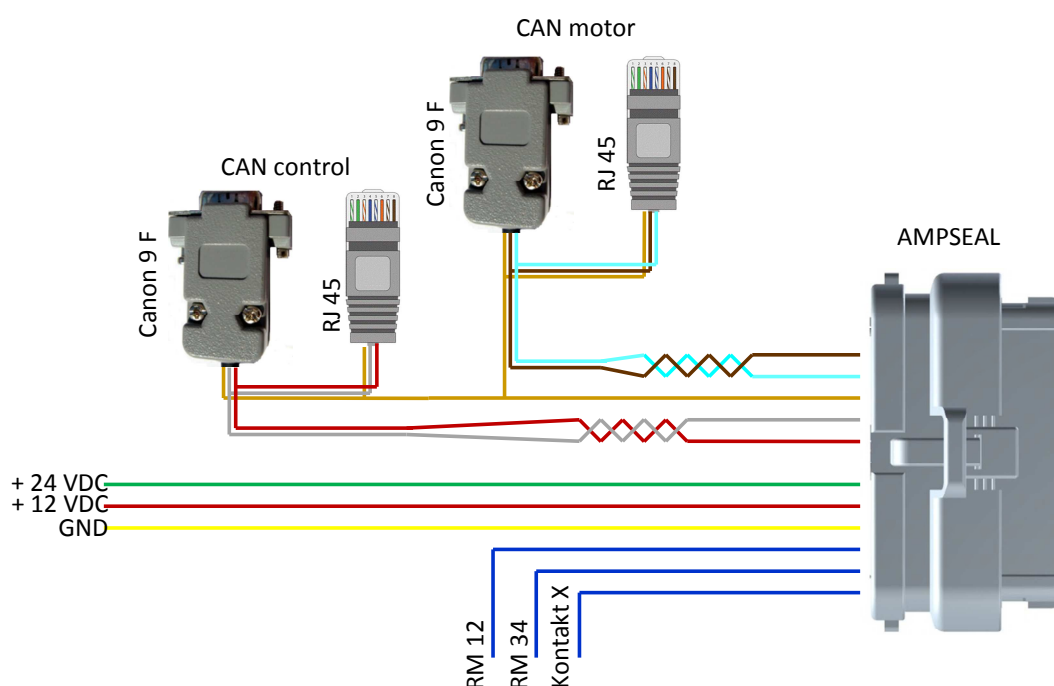
Obrázek 21. Pohled na zhotovenou jednotku pohonu

### 5.1.6 Kabelový svazek

Pro potřeby připojení jednotky pohonu ke zbytku elektroniky vozidla Democar byl vyroben kabelový svazek. Na jednotce se nachází konektor AMPSEAL 35 pinů, skrze který jsou vyvedeny všechny potřebné piny. Konektor určený pro montáž na kabelový

svazek spolu s protikusem, který je zapájen do desky jednotky, spolu tvoří velice kvalitní elektrické spojení. Výrobce deklaruje nízké přechodové odpory a vysokou odolnost vůči vlhkosti. Tyto vlastnosti jsou dány použitím konektorového spojení do automotive aplikací, kde jsou přísné požadavky na odolnost a kvalitu spojení.

Na jednotce pohonu jsou všechny kabely svedeny do jednoho konektoru, kde máme jak napájecí, signálové, tak i komunikační vedení. Na kabelovém svazku k jednotce pohonu je celkem 5 kontorů. Konektor Canon 9F, pro potřeby připojení analyzátoru sběrnice nebo diagnostického zařízení, je vyveden pro obě sběrnice CAN (CANcontrol, CANmotor). RJ 45 konektory, slouží k připojení sběrnice CAN k měniči Baumüller, jsou také vyvedeny na obou sběrnicích CAN. AMPSEAL konektor slouží k připojení kabelového svazku do jednotky pohonu. Na Obrázek 22 je pohled na ilustrační schéma kabelového svazku.



Obrázek 22. Ilustrační schéma kabelového svazku DCU

Použití jednotlivých vodičů je následující. Hlavní napájecí napětí je červený kabel označen + 12 VDC a je připojen do 12 voltové větve vozidla a jištěn pojistkou 0,3 A. Zelený kabel + 24 VDC přivádí do jednotky pomocné napětí pro napájení měničů. Modrý kabel RM 12 je spínané napájení řídicí části měničů 1 a 2, které řídí motory přední nápravy. Kabel RM 34 je pro napájení měničů 3 a 4, ale v současné verzi vozidla jej není využito. Modrý vodič kontakt X, je reléový výstup jednotky, který má sloužit ke spínání cívky hlavního relé připojujícího napětí battery packu do meziobvodů měničů.

Pro přehlednost kompletního zapojení kabelového svazku včetně pinů konektorů a barvy vodičů je uvedeno v Tabulka 5. V závorce uvedené „kr“ znamená, že se jedná o kroucený vodič.

<b>Zapojení kabelového svazku DCU</b>			
<b>číslo pinu (AMPSEAL)</b>	<b>barva vodiče</b>	<b>použití</b>	<b>označení</b>
1, 13, 24	červená	napájení + 12 VDC	+ 12 VDC
2, 14	žlutá	zem	GND
4	zelená	napájení + 24 VDC	+ 24 VDC
5	modrá	napájení měniče 1, 2	RM 12
6	modrá	napájení měniče 3, 4	RM 34
7	modrá	cívka relé X	kontakt X
15	bílá (kr)	CAN control low	CAN L0
16	hnědá/bílá (kr)	CAN motor high	CAN H1
25	hnědá/tyrkysová (kr)	zem CAN	CAN GND
26	červená (kr)	CAN control high	CAN H0
27	tyrkysová/bílá (kr)	CAN motor low	CAN L1

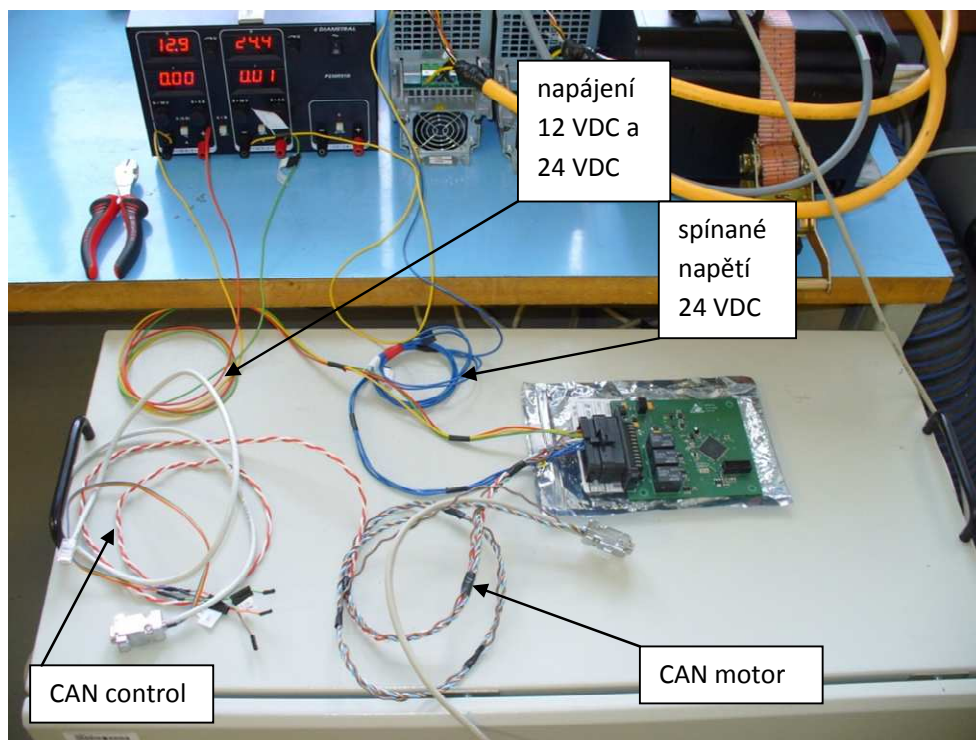
*Tabulka 5. Zapojení kabelového svazku DCU*

Osazení konektoru RJ 45 je v obou případech totožné a je již uvedeno na Obrázek 9. Zapojení konektoru CANON 9F je také stejné pro oba konektory a je uvedeno v Tabulka 6. Číslování pinů je standardní.

<b>Zapojení konektoru canon 9 f</b>		
<b>číslo pinu</b>	<b>označení</b>	<b>připojené vodiče</b>
1, 3	GND	CAN GND
2	CAN L	CAN L0 / CAN L1
7	CAN H	CAN H0 / CAN H1

*Tabulka 6. Zapojení konektoru canon 9 f*

Celý vyrobený kabelový svazek je vidět na Obrázek 23, kde je zapojen ke všem potřebným komponentám při vlastním testování svazku i jednotky.



Obrázek 23. Pohled na vyrobený kabelový svazek k DCU

## 5.2 Softwarové řešení

Celý vývoj řídicího programu probíhal v prostředí CodeWarrior 10.4. Pro jednoduché a rychlé nasazení vyvíjené aplikace bylo využito operačního systému reálného času MQX 4.0, který běží na procesoru. Celá struktura programu včetně všech funkcí byla psána v programovacím jazyce C. Na řadu částí programu je využito knihovních funkcí, které jsou dodávány k systému MQX. Podrobný popis jednotlivých funkcí a jednoduché příklady jsou součástí vývojového prostředí. Nacházejí se v ...\\Freescale\Freescale\_MQX\_4\_0\mqx\examples.

MQX je monolitický operační systém, jež používá oddělení paměťového prostoru pro aplikace a paměťový prostor jádra. Zvyšuje se tak bezpečnost a zabezpečení systému [15].

MQX je vlastně knihovni systém funkcí. Skládá se z jádra nevolitelných komponentů a z volitelných součástí. Funkce obsažené v jádře se stanou součástí obrazu (image) pouze tehdy, pokud jsou ze samotného MQX nebo z aplikace skutečně volány. To zásadně přispívá k malé velikosti MQX. Pro zabezpečení požadavků aplikace je nutné zařadit do obrazu požadované části [15].

### 5.2.1 Popis funkčního běhu programu

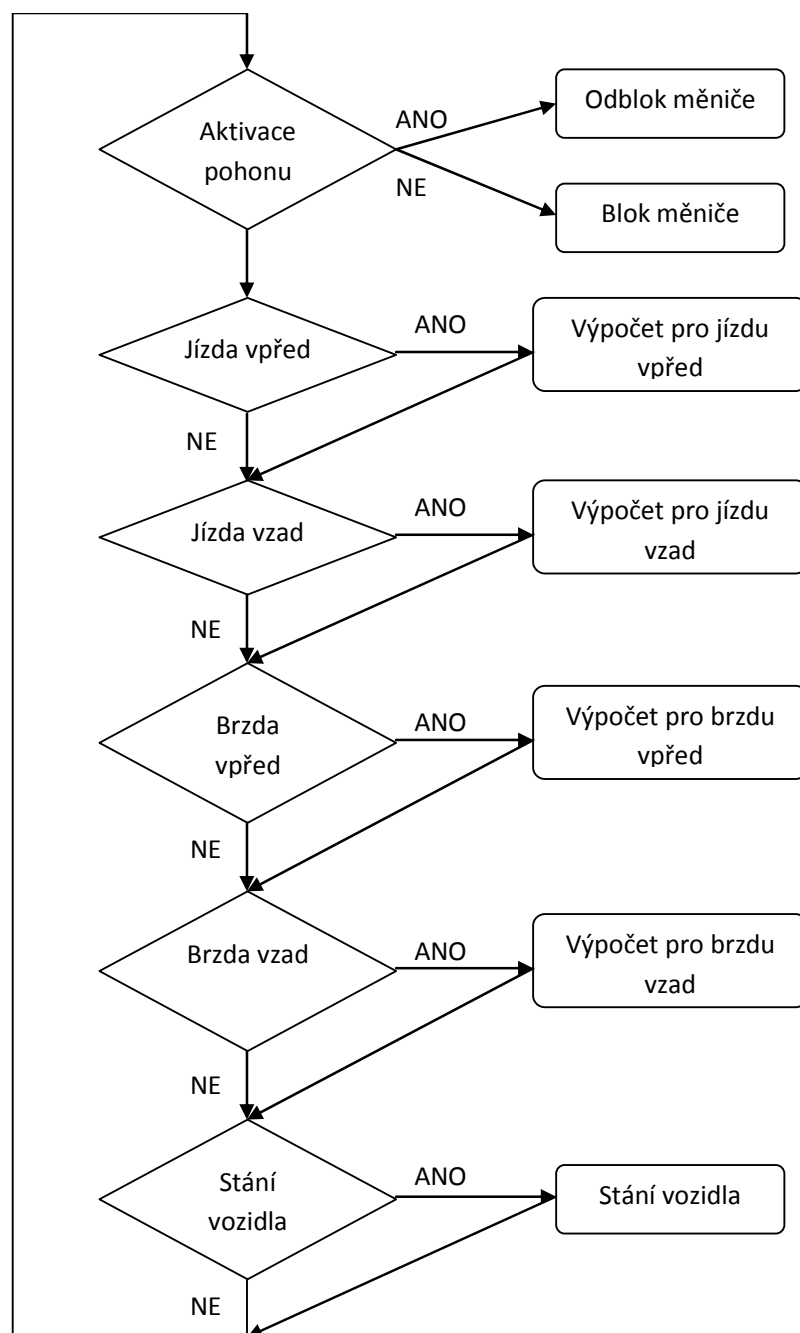
Celý běh řídicího programu jde z pohledu paralelního běhu rozdělit na 5 navzájem závislých tasků. Z toho jeden task (main task) vykonává interakci dat s algoritmem řízení pohonu a obslužných funkcí. Zjednodušeně by se dalo říci, že v závislosti na datech přijatých po sběrnici CAN tyto data přepočte a znovu odešle.

Nyní budou postupně rozebrány jednotlivé tasky a funkce, které využívají pro svůj běh. Maintask, mimo to, že v něm běží hlavní algoritmus řízení, jak bylo uvedeno výše, má za úkol ještě další důležité procedury pro hladký běh programu. Ihned po zapnutí napájení je program v tzv. sleep módu, kde čeká na povel k aktivaci vozidla. Ještě předtím si alokuje proměnné do paměti. Jakmile dojde k požadavku na aktivaci vozidla, volají se postupně inicializační funkce. Prvně dochází k inicializaci CAN modulů, prvně CAN0 (CANcontrol) poté CAN1 (CANmotor). Ve funkci CAN\_init se nastaví požadované parametry sběrnice, vytvoří komunikační mailboxy, nainstaluje se funkce obsluhující přerušování pro příjem dat z CANu. Na závěr se aktivuje sběrnice. Po inicializaci CANu, je potřeba nastavit GPIO porty pro spínání relátek. Nyní dojde k aktivaci tasků obsluhujících příjem a odesílání dat skrze CAN. Pro každý CAN modul jeden task na odesílání, druhý na příjem dat. Součástí aktivace je i spuštění napájení řídicí části měničů, po kterém následuje 10 vteřinová bezpečnostní pauza a poté sepnutí i silového napájení a následná 2 vteřinová bezpečnostní pauza. Všechny výše uvedené procedury se provedou pouze jednou a při požadavku na aktivaci vozidla.

Když je provedena takzvaná inicializace, dostává se smyčka main do cyklického běhu, který může být ukončen buď požadavkem na vypnutí vozu, nebo výpadkem napájení. To co se děje v hlavním algoritmu řízení je pro názornost uvedeno na vývojovém diagramu (Obrázek 24). Podstatná věc, která není ve vývojovém diagramu zohledněna, je vlastnost funkce pro aktivaci pohonu, která vrací aktuální status, jestli je měnič aktivován či ne. Pokud je status „měnič neaktivován“ ostatní níže uvedené podmínky nenastanou. Co vykonávají další podmínky a funkce je zřejmé již z jejich názvu a proto to zde nebude dále rozebíráno. Ve funkcích pro výpočet rychlostí a brzdného momentu v jednotlivých směrech jízdy je i připraven prostor pro funkci elektronického diferenciálu, ale z důvodu absence některých potřebných součástí vozidla pro reálnou jízdu není tato možnost aktivní.

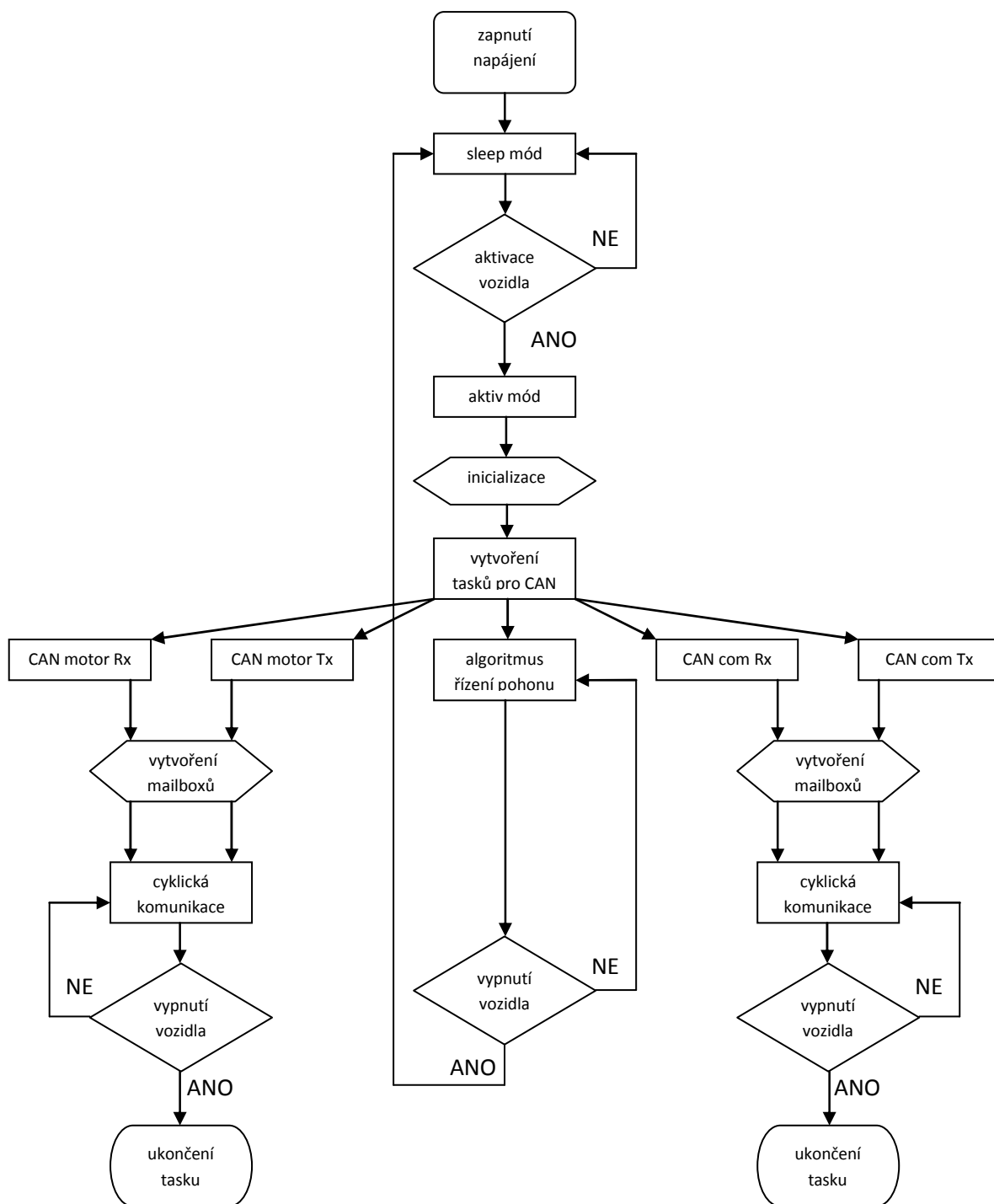
Dále je popsáno shrnutí, co se zjednodušeně děje v hlavní smyčce programu po korektně provedené inicializaci. V závislosti na přijatých datech z CANcontrol, mění

globální proměnou status pohonu a podle požadavku jízdy. Brzdy dále upravuje status drive a do dalších globálních proměnných zapisuje vypočtené hodnoty pro rychlosti (případně brzdné momenty jednotlivých kol). Dále připravuje data, která budou zpět odeslány na CANcontrol.. Zjednodušený běh celého řídicího programu je vidět na Obrázek 25.



Obrázek 24. Vývojový diagram smyčky v main tasku





Obrázek 25. Vývojový diagram řídicího programu

Pro úplnost chybí popsat co se děje v jednotlivých odesílacích a přijímacích tascích. Prvně bude popsán přijímací task pro CANcontrol. Při prvním spuštění se vytvoří další mailboxy, které se ještě nevytvořili v *init* funkci main tasku. Poté se program dostane do cyklického běhu, ve kterém přijímá data. Pro příjem dat je použita knihovní funkce pro MQX, která v případě když přijme data, uloží je do proměnné a vygeneruje událost.

V reakci na událost se tyto data uzamknou. Aby nemohlo dojít k přepisu, zkontroluje se ID, jestli to není ID s požadovanými daty. Pokud ano, dojde k dalším zpracování dat a uvolnění proměnné pro nová data. Pokud ne, uvolní se proměnná a čeká se na nová data.

Odesílací task na CANcontrol je rozdělen do dvou úrovní, odesílání statických dat a dynamických dat. Statické data se odesílají cyklicky v každém běhu a obsahují jednotlivé provozní stavy vozidla a vybrané vypočtené veličiny. Dynamická data se odešlou pouze v případě vzniku problému. Dále je prostor dynamických dat nachystán pro další rozšíření hlavně z pohledu diagnostiky jednotky pohonu.

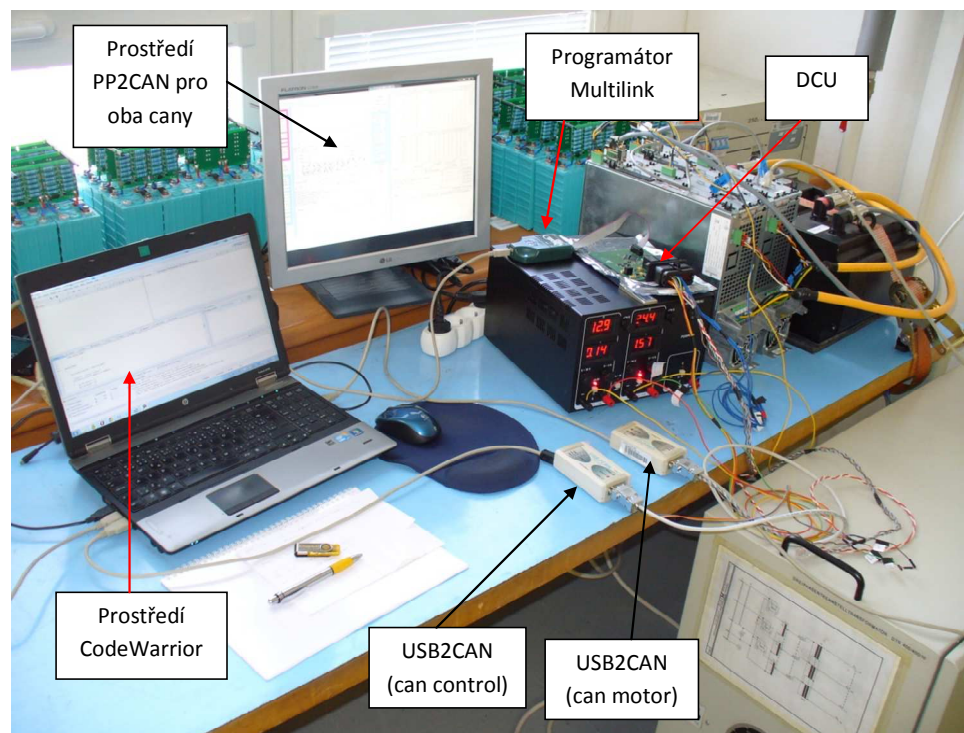
Přijímání dat na CANmotor, funkce je identická jako u předchozího přijímacího tasku, pouze s rozdílem ID dat a funkcí pro jejich další zpracování.

Odesílání dat na CANmotor. V tomto tasku se odesílají data, která slouží pouze k parametrování měničů a řízení pohonu. Je zde největší množství odesílaných dat. Nejsou zde z důvodu povahy parametrování měničů odesílaná neustále stejná data, ale mění se v závislosti na globální proměnné status drive. Samozřejmě je zde ošetřena logika posílaných dat. Například nemůže být poslán požadavek na roztočení motoru, když není motor aktivován. Stejně tak blokování již zablokovaného měniče atd.

### **5.3 Ověření funkce DCU**

Praktické ověření jednotky pohonu proběhlo zapojením všech komponent mimo vozidlo. Zapojení bylo následující, jednotka pohonu skrze vyrobený kabelový svazek spojená s napájecím zdrojem 12 a 24 V. Z kabelového svazku byly dále napájecí konektory zapojeny do obou měničů. CANcontrol byl spojen pouze s USB2CAN převodníkem, který simuloval zbytek vozidla. CANmotor se zapojil do měničů a komunikace byla sledována druhým USB2CAN převodníkem. Měnič a motor byl propojen speciálními dodávanými kabely. Silové napájení obstarával 3 fázový oddělovací transformátor. Pohled na zapojení všech součástí při ověřování jednotky pohonu je na Obrázek 26.

Samotné ověření, mimo jiné, spočívalo v nasimulování reálné komunikace na CANcontrol prostřednictvím USB2CAN převodníku. Simulované data nahrazují příkazy z vysílačky zpracované CCU a odeslané na CANcontrol. V závislosti na těchto příkazech se sledovaly reakce jednotky pohonu z hlediska komunikace, stavu měničů a motoru a hodnotách globálních proměnných.



Obrázek 26. Zapojení komponent při ověřování funkce DCU

Komunikace na obou sběrnicích se sledovala již zmíněnými převodníky. Stav měniče byl indikován na displeji měniče. Pro podrobné informace o měniči a motoru byl skrze sériovou linku sledován stav v programu proDrive. Hodnoty globálních proměnných se sledovaly v programovacím a ladicím prostředí CodeWarrior. Na obrázcích 27 až 30 jsou zachycená důležitá data dokazující funkčnost jednotky pohonu jako prostředku pro nastavování měničů motorů. Význam jednotlivých dat je uveden u každého obrázku.

Name	Value	Location
kernel_data	0x400013e0	0x40003d78 Virtual
act_speed_control	100	0x40001234 Virtual
Act_Status_Drive	0x0a	0x40001239 Virtual
act_speed_m2	4294966296	0x40001230 Virtual
act_speed_m1	1000	0x4000122c Virtual
Velocity_Want	100	0x40001240 Virtual
Status_Drive	0x0a	0x40001238 Virtual
_mqx_kernel_data	0x400013e0	0x40001208 Virtual

Obrázek 27. Hodnoty vybraných globálních proměnných v CodeWarrioru

### Zaznamenaná data na CAN motor (aktivace měničů)

Nu...	Received time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
12	11:27:28.41...	St	1541		8	35	147	68	0	0	0	0	0	1...
11	11:27:28.39...	St	1414		8	96	44	65	0	0	0	0	0	1...
10	11:27:28.38...	St	1542		8	35	44	65	0	15	0	0	0	1...
9	11:27:28.37...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
8	11:27:28.37...	St	1542		8	35	147	68	0	0	0	0	0	1...
7	11:27:28.36...	St	1414		8	96	44	65	0	0	0	0	0	1...
6	11:27:28.35...	St	1542		8	35	44	65	0	6	0	0	0	1...
5	11:27:28.34...	St	1413		8	96	44	65	0	0	0	0	0	1...
4	11:27:28.34...	St	1541		8	35	44	65	0	15	0	0	0	1...
3	11:27:28.33...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
2	11:27:28.32...	St	1541		8	35	147	68	0	0	0	0	0	1...
1	11:27:28.31...	St	1413		8	96	44	65	0	0	0	0	0	1...
0	11:27:28.31...	St	1541		8	35	44	65	0	6	0	0	0	1...

hodnoty  
aktivující  
měnič

### Zaznamenaná data na CAN motor (jízda požadovanou rychlostí vpřed)

Nu...	Received time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
5627	11:30:16.78...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5626	11:30:16.78...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5625	11:30:16.77...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
5624	11:30:16.77...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...
5623	11:30:16.66...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5622	11:30:16.66...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5621	11:30:16.65...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
5620	11:30:16.65...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...
5619	11:30:16.53...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5618	11:30:16.53...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5617	11:30:16.53...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
5616	11:30:16.53...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...
5615	11:30:16.41...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5614	11:30:16.41...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5613	11:30:16.41...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
5612	11:30:16.41...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...
5611	11:30:16.30...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5610	11:30:16.30...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5609	11:30:16.29...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
5608	11:30:16.29...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...
5607	11:30:16.17...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5606	11:30:16.17...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
5605	11:30:16.17...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
5604	11:30:16.17...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...

hodnoty  
otáček

### Zaznamenaná data na CAN motor (zablokování měničů)

Nu...	Received time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
9843	11:32:23.16...	St	1414		8	96	44	65	0	0	0	0	0	1...
9842	11:32:23.16...	St	1542		8	35	44	65	0	6	0	0	0	1...
9841	11:32:23.15...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9840	11:32:23.15...	St	1542		8	35	147	68	0	0	0	0	0	1...
9839	11:32:23.14...	St	1413		8	96	44	65	0	0	0	0	0	1...
9838	11:32:23.14...	St	1541		8	35	44	65	0	6	0	0	0	1...
9837	11:32:23.13...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9836	11:32:23.13...	St	1541		8	35	147	68	0	0	0	0	0	1...
9835	11:32:23.17...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9834	11:32:23.17...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9833	11:32:23.14...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
9832	11:32:23.14...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...
9831	11:32:22.89...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9830	11:32:22.89...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9829	11:32:22.89...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
9828	11:32:22.89...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...
9827	11:32:22.77...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9826	11:32:22.77...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9825	11:32:22.77...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
9824	11:32:22.77...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...
9823	11:32:22.65...	St	1414		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9822	11:32:22.65...	St	1413		8	96	147	68	0	0	0	0	0	1...
9821	11:32:22.65...	St	1542		8	35	147	68	0	24	252	255	255	1...
9820	11:32:22.65...	St	1541		8	35	147	68	0	232	3	0	0	1...

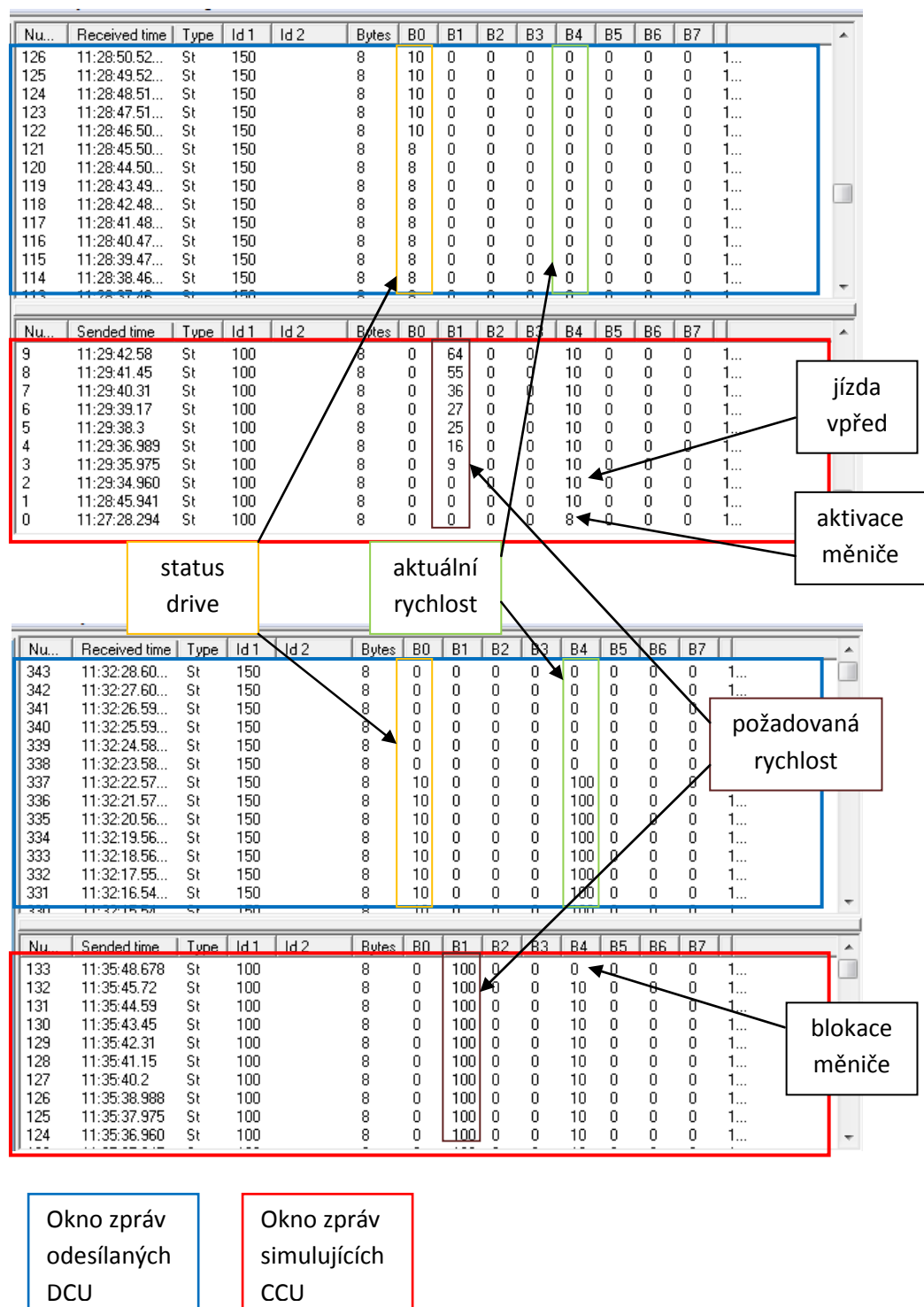
hodnoty  
blokující  
měnič

ID měničů

typ parametru (otáčky,  
statusword ...)

hodnota parametru

Obrázek 28. Zachycené jednotlivé průběhy komunikace na CANmotor

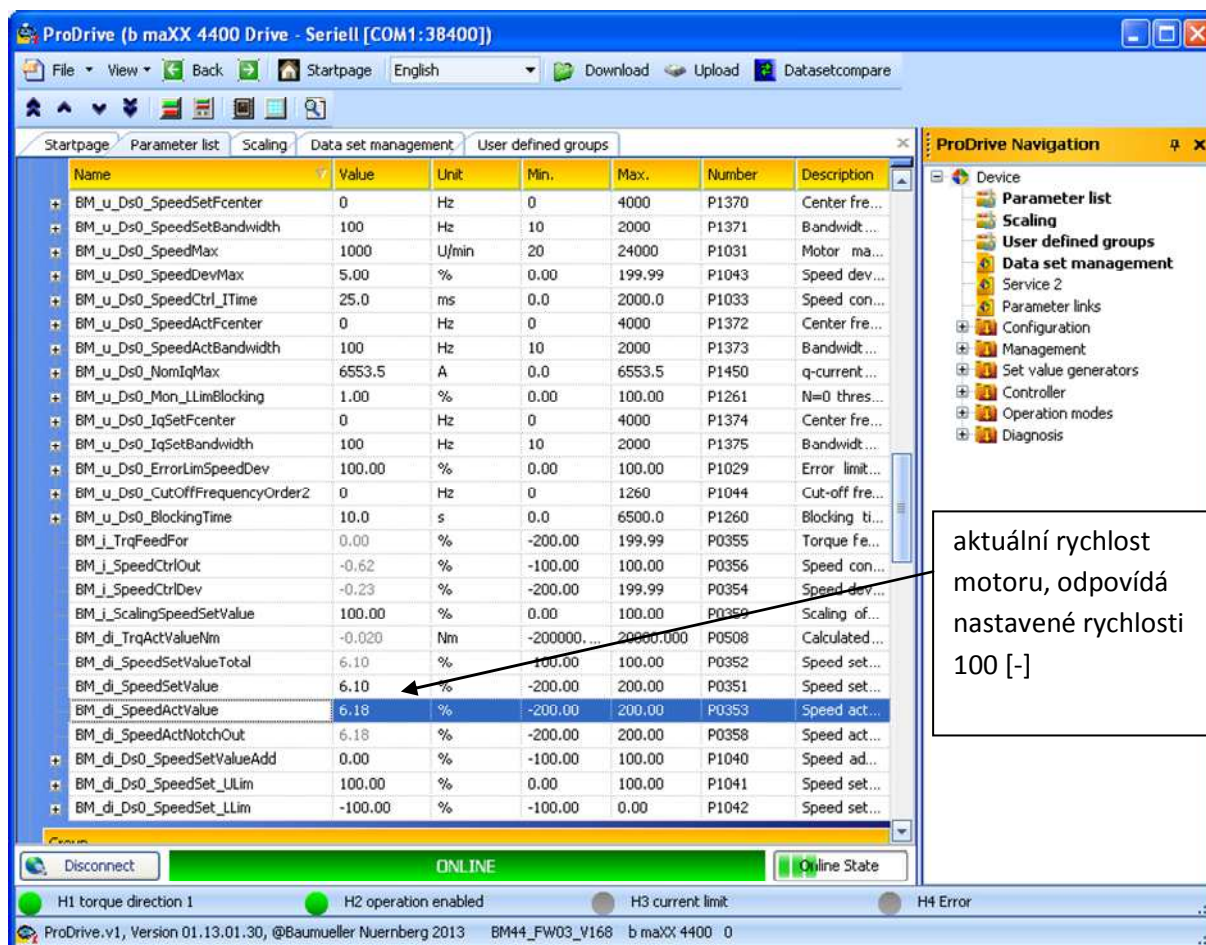


Obrázek 29. Průběhy zachycených a simulovaných dat na CANcontrol

Obrázky 28 a 29 jsou zachyceny ve stejnou dobu a ukazují jaký typ dat, se odešle na kterou sběrnici v závislosti na příkazech z vysílačky resp. centrální jednotky. Příkazy jsou popsány jako aktivace a blokace měniče, jízda vpřed požadovanou rychlostí.

Podrobnější význam jednotlivých zpráv a jejich souvislosti jsou následující. Při pohledu na Obrázek 29 v červeném rámečku v horní části na řádek 0 lze vidět, že na ID 100 a pozici 4 bajtu přišla hodnota 8 (dekadicky), která obsahuje informaci, že se má aktivovat měnič (pohon). Reakcí na toto je série dat odeslaných z jednotky pohonu, které jsou vidět na Obrázek 28 v jeho horní části na řádku 0 až 10, tyto data provedou odblokování měniče a nastavení počáteční rychlosti na 0.

Data, která uvedou pohon do chodu, jsou vidět na Obrázek 29 v horním červeném rámečku na řádku 1. Zde je vidět, že hodnota 4 bajtu se změnila na 10, což odpovídá jízdě v před a zároveň hodnota bajtu B1 obsahuje rychlost (nejedná se o rychlost ve smyslu fyzikální veličiny, ale o bezrozměrnou jednotku, která se přepočte na požadovanou rychlost). Vidíme, že rychlost na bajtu B1 pomalu narůstá. Reakce, kterou provede jednotka pohonu, je vidět na Obrázek 28, v jeho střední části. Jedná se o data obsahující rychlosti pro jednotlivé motory. Pro zastavení a zablokování pohonu se na bajtu 4 odešle 0 série dat, která zastaví pohon. Toto je vidět na Obrázek 28 v jeho spodní části.



Obrázek 30. Zachycené parametry měniče a motoru

## 6 Závěr

Diplomová práce se zabývala návrhem a realizací řídicí jednotky elektropohonu (DCU) demonstračního vozidla Democar. V úvodní části je rozebrán současný stav elektronických systémů vozidla. V návaznosti na realizovanou řídicí jednotku elektropohonu je popsána možnost kooperace stávajících elektronických řídicích jednotek s realizovanou jednotkou. Popsané možnosti a význam kooperace elektronických systémů byly pro další potřeby vozidla Democar konzultovány s vedoucím práce. Jednotka pohonu je na vzájemnou spolupráci elektronických systémů plně připravena.

Další pasáže práce jsou věnovány zejména zmiňované řídicí jednotce pohonu. A to jak v teoretické, tak praktické rovině. Před návrhem bylo prostudováno kompletní řešení všech současných elektronických jednotek vozidla. Na základě zjištěných informací a stanovených požadavků byl proveden návrh jednotky pohonu. Prvotním výsledkem návrhu bylo přesné blokové schéma jednotky (Obrázek 15) a stanovené parametry napájecí části.

V realizační části je krok po kroku popsán postup při výrobě jednotky. Započalo se vypracováním podkladů pro výrobu desky plošných spojů, která jako jediná součást nebyla vyrobena svépomocí. Podle podkladů byla vyrobena neosazená deska u specializované firmy. Veškeré další činnosti spojené s realizací jednotky pohonu byly prováděny vlastními silami v laboratořích Katedry elektroniky, VŠB – TU Ostrava. Na osazené a oživené desce byl odladěn řídicí program a ověřena funkčnost všech částí. Pro potřeby zástavby jednotky pohonu do elektroniky vozidla byl vytvořen kabelový svazek. Součástí realizace je ověření funkčnosti vyrobené jednotky. Jako výsledky, které dokazují funkčnost, jsou použity záznamy komunikace na sběrnici CAN. Výstupem této práce je funkční řídicí jednotka elektrického pohonu vozidla Democar.

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že se úspěšně podařilo splnit všechny body zadání.

## Seznam literatury

- [1] B. Ribbens. Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA, 2003.
- [2] BAUMÜLLER NÜRNBERG GMBH. Three-phase synchronous motors: DSC 45-100 .. 540V. Německo, 2008
- [3] BAUMÜLLER NÜRNBERG GMBH. B MAXX BM4400, BM4600, BM4700: Basic unit. Německo, 2011
- [4] BAUMÜLLER NÜRNBERG GMBH. B maXX 4400 Basic Unit: Parameter manual. Německo, 2003
- [5] BAUMÜLLER NÜRNBERG GMBH. BM4-O-CAN-03: CANopen-Slave for b maxx Application manual. Německo, 2005
- [6] TWR-PXS20 User Guide. [Uživatelská příručka]: Axiom Manufacturing, 2011. DOC-0559-010, rev A.
- [7] Freescale MQX Real-Time Operating System. [Uživatelská příručka]: Freescale, 2012.
- [8] D. Slivka. Metody řízení asynchronního motoru v pohonné jednotce silničního vozidla. [Disertační práce] Ostrava, 2012.
- [9] L. Tacina. Ověření parametrů pohonu kola pro vozidlo se systémem IWD. [Diplomová práce] Ostrava, 2014.
- [10] J. Takáč. Návrh modelu struktury vnitřní diagnostiky elektronických systémů elektromobilu. [Diplomová práce] Ostrava, 2013.
- [11] A. Tudja. Návrh a realizace brzdové soustavy demonstračního vozidla s elektrickým pohonem. [Diplomová práce] Ostrava, 2014



- [12] P. Palacký, P. Brandštetter, P. Chlebiš, V. Sládeček, P. Šimoník, D. Slivka. Control Algorithms of Propulsion Unit with Induction Motors for Electric Vehicle. [Odborný článek] Ostrava, 2014.
- [13] Freescale C for embedded. [Uživatelská příručka] Freescale, 2004.
- [14] Freescale PPC5643L, Rev. 9. [Uživatelská příručka] Freescale, 2013.
- [15] O. Jahn. Návrh a realizace osvětlovací soustavy demonstračního vozidla s elektrickým pohonem. [Diplomová práce] Ostrava, 2014.

## **Seznam příloh**

- A. Schéma zapojení řídicí jednotky pohonu